



TEKNILLINEN TIEDEKUNTA

Riipan pohjavesialueen vedenottamon riskiselvitys ja sieppausalueiden määrittäminen CFR- ja UFE-menetelmillä

Mikko Mäkräinen

KOULUTUSOHJELMA

Pro-gradututkielma

Toukokuu 2020



FACULTY OF TECHNOLOGY

Risk investigation and capture zone analysis by CFR and UFE-methods in Riippa groundwater area

Mikko Mäkräinen

DEGREE PROGRAMME

Master's Thesis

May 2020

TIIVISTELMÄ

OPINNÄYTETYÖSTÄ Oulun yliopisto Teknillinen tiedekunta

Koulutusohjelma (kandidaatintyö, diplomityö) Geotieteiden koulutusohjelma ja Kaivannaisalan yksikkö		Pääaineopintojen ala (lisensiaatintyö)	
Tekijä Mäkräinen, Mikko Jalmari		Tvön ohiaia vliopistolla Jarkko Okkonen	
Tvön nimi Riipan pohjavesialueen vedenottamon riskiselvitys ja sieppausalueiden määrittäys CFR- ja UFE-menetelmillä			
Opintosuunta Maaperägeologia	Tvön laii Pro Gradu	Aika 5/2020	Sivumäärä 68 s.
Tiivistelmä Riipan pohjavesialueelle arvioitiin sieppausalueet kahdella eri menetelmällä käyttäen ArcMap-paikkatieto-ohjelmaa. Sieppausaluemenetelminä käytettiin Calculated Fixed Radius (CFR) ja The Uniform Flow Equation (UFE) menetelmiä. Menetelmien avulla arvioitiin, virtaako pohjavesialueen riskialueilta pohjavettä vedenottamoon. Sieppausalue on se osa pohjavesialueesta, josta pohjavesi virtaa vedenottamoon. Pohjaveden virtausnopeuden perusteella voitiin määrittää pohjaveden kulkeutumisaika riskialueilta vedenottamolle. Kulkeutumisaikojen määrittäyksissä käytettiin CFR-menetelmää sekä Darcyn-lakia. Menetelmien soveltuvuutta arvioitiin pohjaveden suojelusuunnitelmaan. CFR-sieppausalue laskettiin Riipan vedenottamon pohjaveden pumppausmäärän mukaan. CFR-menetelmän vyöhykkeitä muodostettiin kahdeksan kappaletta. CFR-vyöhyke kuvaa virtaavan pohjaveden sijaintia tietyllä ajan hetkellä. UFE-sieppausalueet määritettiin Riipan pohjaveden virtaussuuntatietojen mukaan. Virtaussuuntien määrittämiseen käytettiin Kälviän vesiosuuskunnalta saatuja pohjaveden pinnankorkeustietoja, joiden pohjalta tehtiin Riipan pohjaveden pinnankorkeuden interpoloinnit Kriging- ja TopoToRaster-interpolointimenetelmillä. TopoToRasterin pohjaveden pinnankorkeusinterpoloinnin pohjalta muodostettiin ArcHydro-sovelluksella Riipan pohjaveden virtaussuunnat. Tulosten perusteella pohjavesi virtaa Riipan pohjavedenottamoon kaakosta luoteeseen ja osa pohjavedestä tulee myös idästä Jouhteenkankaalta. Riipan pohjaveden laatua uhkaavia tekijöitä UFE-sieppausalueiden mukaan ovat valtatie 28, rautatie, käytöstä poistetut ja kunnostamattomat maanottoalueet sekä happamat sulfaattimaat. Riskialueeksi luokiteltulta käytöstä poistetulta ampumarata-alueelta ei tule sieppausalueen mukaan pohjavettä vedenottamoon. Darcyn-lain mukaan pohjaveden kulkeutumisaika riskialueilta Riipan vedenottamolle vaihtelee 6-17 vuoden välillä hydraulisen johtavuuden ollessa 10 m/vrk. Hydraulisen johtavuuden kasvaminen 100 m/vrk nopeuttaa pohjaveden kulkeutumisajan riskialueilta vedenottamolle 7-20 kuukauteen. Darcyn-laissa pohjaveden virtausnopeuteen vaikuttaa siis suuresti maaperän hydraulinen johtavuus. CFR-menetelmässä pohjaveden kulkeutumisaika riskialueilta Riipan vedenottamoon on 100-1080 vuorokauden (3 kk – 3 v) välillä. CFR-menetelmässä pohjaveden kulkeutumisaikaa vaikuttaa pohjaveden pumppausmäärä. Tutkimuksen tuloksia voidaan hyödyntää pohjavesien suojelusuunnitelmissa.			
Muita tietoja			

ABSTRACT FOR THESIS

University of Oulu Faculty of Technology

Degree Programme (Bachelor's Thesis, Master's Thesis) Geotieteiden koulutusohjelma ja Kaivannaisalan yksikkö		Major Subject (Licentiate Thesis)	
Author Mäkäraäinen, Mikko Jalmari		Thesis Supervisor Jarkko Okkonen	
Title of Thesis Risk investigation and capture zone analysis by CFR and UFE-methods in Riippa groundwater area			
Major Subject	Type of Thesis Master's Thesis	Submission Date 5/2020	Number of Pages 68 p.
<p>Abstract</p> <p>In this work was determined two types of groundwater capture zones at the Riippa groundwater area. Used method types were Calculated Fixed Radius (CFR) and The Uniform Flow Equation (UFE). The purpose with these techniques were to determine whether groundwater flows into the well from areas that might pollute the groundwater. Groundwater capture zone is called that zone of groundwater area where water flows in to the well. By using groundwater's flow time can be calculated groundwater's transport-time from polluted area to the well. For transport-time calculations were used CFR-technique and Darcy's law. Techniques suitability were estimated for groundwater protection plans.</p> <p>CFR-capture zones were calculated around to the Riippa's groundwater well using the amount of pumped groundwater. Eight CFR-technique zones were formed around to the Riippa's well. One zone describes the location of flowing groundwater at a given point in time.</p> <p>UFE-capture zones were defined with groundwater flow direction data. Groundwater's flow directions definitions were made by using groundwater level information data which was got from Kälviä's water department. Groundwater level interpolations were done by using Kriging and TopoToRaster interpolation methods. Flow directions of Riippa's groundwater were formed with ArcHydro based on TopoToRaster's groundwater level interpolation. According to the results groundwater flows into the Riippa's groundwater well from southeast to northwest and partly groundwater also comes from east from Jouhteenkangas.</p> <p>According to the UFE-capture zones factors threatening the quality of groundwater at Riippa are highway 28, railway, decommissioned and unimproved landfill areas, and acid sulfate soils. According to the UFE-capture zone groundwater doesn't flow to the Riippa's groundwater well from decommissioned firing range which is calculated to be a risk area for groundwater quality.</p> <p>According to Darcy's law the time of groundwater transport from risk areas to the Riippa's groundwater well varies from 6 to 17 years, with a hydraulic conductivity of 10 m/day. Increase in hydraulic conductivity to 100 m/day shortens the groundwater transport time from risk areas to the groundwater well to 7-20 months. In Darcy's law, the groundwater flow rate is thus greatly influenced by the hydraulic conductivity of the soil. In the CFR-method, the transport time of groundwater from risk areas to the Riippa's groundwater well is between 100 and 1080 days (3 months - 3 years). In the CFR-method, the groundwater transport rate is affected by the amount of groundwater pumped.</p> <p>The results of the study can be used in groundwater protection plans.</p>			
Additional Information			

MERKINNÄT JA LYHENTEET

A	Virtaaman poikkileikkausala
CFR	Calculated Fixed Radius
H	Kaivon siiviläosan pituus
h_1	Havaintoputken pohjaveden pinnankorkeus
h_2	Havaintoputken pohjaveden pinnankorkeus
K	Hydraulinen johtavuus
L	Havaintoputkien välinen etäisyys
n	huokoisuus
r	CFR-vyöhykkeen etäisyys vedenottamolta
T	aika
UFE	The Uniform Flow Equations
v	pohjaveden todellinen virtausnopeus
Q	Pohjaveden pumppausmäärä (CFR-menetelmä)
Q	Virtaama (Darcyn-laki)

Sisällysluettelo

TIIVISTELMÄ	3
1 JOHDANTO.....	1
2 AINEISTOT JA TUTKIMUSMENETELMÄT	2
2.1 Aineistot.....	2
2.2 Tutkimusmenetelmät	4
2.2.1 ArcMap.....	4
2.2.2 Riipan pohjaveden pinnankorkeuden interpolointi ja virtaussuunnan määrittäminen	4
2.2.3 Pohjaveden sieppausalueiden määrittämenetelmät.....	5
2.2.4 Pohjaveden virtausnopeuden määrittäminen.....	11
3 RIIPAN GEOLOGINEN TAUSTA	13
3.1 Riipan pohjavesimuodostuman sijainti	13
3.2 Muodostuman synty	15
3.3 Tutkimusalueen rakenne	15
3.3.1 Kallioperän koostumus ja rakenne.....	15
3.3.2 Maaperän koostumus	17
3.3.3 Harjukerrostumat	19
3.3.4 Merivaiheen kerrostumat	20
3.3.5 Rantavaiheen kerrostumat	20
3.3.6 Moreenit	21
4 RIIPAN HYDROGEOLOGISET OLOSUHTEET.....	22
4.1 Riipan vedenottamo	22
4.2 Pohjaveden purkautumispaikat.....	23
4.3 Pohjaveden laatu	23
5 YLEISTÄ POHJAVESIEN PILAANTUMISESTA	24
5.1 Pohjavesialueet Suomessa	24
5.2 Pohjaveden pilaantuminen	25
6 RIIPAN POHJAVEDEN PILAANTUMISRISKIÄ AIHEUTTAVAT RISKIALUEET	26
6.1 Tieliikenne	27
6.2 Junaliikenne	28
6.3 Maanotto	30
6.4 Ampumarata-alue	32
6.5 Happamat sulfaattimaat	34
7 TULOKSET	36

7.1	Pohjaveden pinnankorkeudet ja virtaussuunnat	36
7.1.1	<i>TopoToRaster-interpolointi</i>	38
7.1.2	<i>Kriging-interpolointi</i>	40
7.2	Sieppausalueet	41
7.2.1	<i>UFE-sieppausalue</i>	41
7.2.2	<i>CFR-vyöhykkeet</i>	47
7.3	Kulkeutumisajat	49
8	TULOSTEN TARKASTELU	50
8.1	Ympäristöuhkien arviointi sieppausalueen perusteella	50
8.1.1	<i>UFE-menetelmän yhdistetty sieppausalue</i>	50
8.1.2	<i>CFR-menetelmän sieppausalue</i>	53
8.2	Riipan pohjaveden kulkeutumisajat riskikohteilta	53
8.2.1	<i>CFR- ja UFE-menetelmä</i>	53
8.2.2	<i>Darcyn laki ja UFE-menetelmä</i>	56
8.3	Menetelmien käytön arviointi pohjaveden suojelusuunnitelmassa	59
9	VIRHELÄHTEET	62
10	JOHTOPÄÄTÖKSET	63
	KIITOKSET	64
	Lähdeluettelo	65

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä käsitellään Riipan pohjavedenottamolle määritettyjä sieppausalueita sekä pohjaveden kulkuaikoja vedenottamolle. Vedenottamon sieppausalue-termi tulee englanninkielisistä sanoista capture zone. Suomessa sieppausalueella tarkoitetaan pohjavedenottamoiden valuma-alueita tai suojava-yöhykkeitä (Jylhä-Ollila & Laksio 2014, s. 4). Työssäni käytän terminä pohjavedenottamoiden sieppausalue. Termi pohjaveden muodostumisalue kuvaa aluetta, joka olennaisesti lisää alueen pohjaveden määrää. Pohjavedenottamo ja pohjavedenottamon sieppausalue sijoittuvat pohjaveden muodostumisalueelle. Sieppausaluemenetelminä käytän *Calculated Fixed Radius* (CFR) ja *The Uniform Flow Equation* (UFE) menetelmiä. Pohjaveden kulkeutumisaikojen määrittämiseen Riipan vedenottamolle käytän Darcyn-lakia sekä CFR-menetelmää. Työssä kerrotaan myös Riipan pohjavesialueen geologisesta rakenteesta, hydrologisista olosuhteista sekä Riipan pohjaveden laatua uhkaavista riskitekijöistä. Käyn myös läpi käyttämäni sieppausalueiden ja pohjaveden kulkeutumisaikojen soveltuvuutta pohjavesien suoje-lusuunnitelmassa.

Suomessa luonnollisten pohjavesialueiden pohjavedenlaatu on yleisesti hyvä, mutta ne ovat kuitenkin herkkiä pilaantumaa. Tämä johtuu siitä, että Suomen pohjavesimuodostumat ovat kooltaan pieniä sekä niitä peittävä maakerros on suhteellisen ohutta ja hyvin vettä johtavaa. Näiden tekijöiden vuoksi pohjaveteen voi päästä helposti suotautumalla haitta-aineita, joiden vaikutuksena pohjaveden laatu voi jopa heikentyä käyttökelvottomaksi. Suurimmat riskitekijät yleisesti Suomessa pohjavedelle ovat teollisuus, kaatopaikat, huoltoasemat, tienpito, maanalaiset öljysäiliöt, maa-ainestenotto, jätevesien käsittely, viemärit jne. Suomessa pohjaveden käyttö kasvaa koko ajan ja samalla kasvaa niiden suojelemistarve samassa määrin, jotta meillä on jatkossakin laadultaan puhdasta pohjavettä (Ympäristöhallinto 2020).

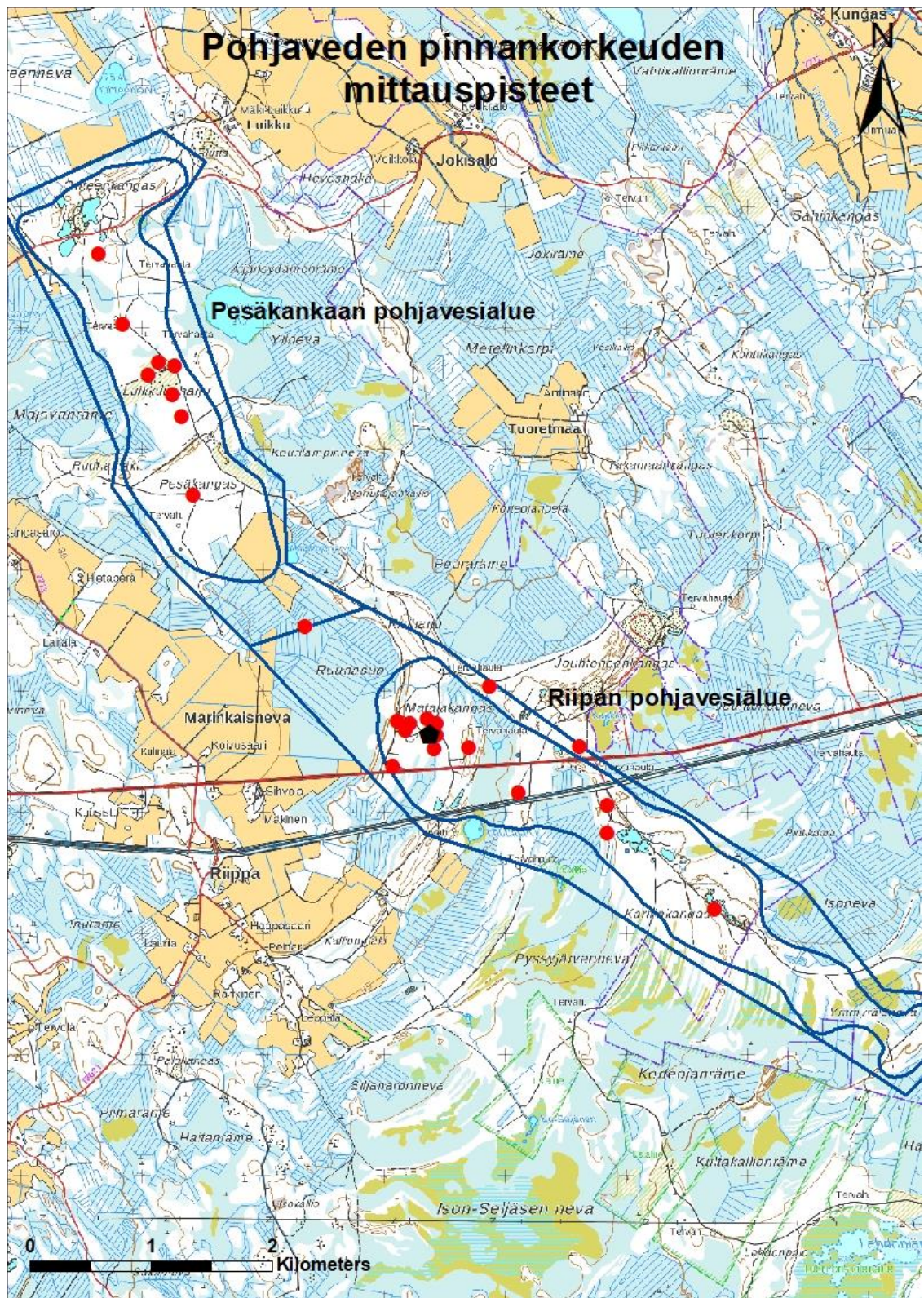
Keskeinen idea sieppausaluemäärittämisessä on määrittää pohjavedenottamon ympärille ns. suoja-alue, joka kertoo, mikä osa pohjavedestä tulee vedenottamoon pohjavesialueelta. Sieppausalueen avulla voidaan määrittää, tuleeko pohjaveden laatua uhkaavilta riskialueilta tai onnettomuuspaikalta pohjavesi vedenottamolle vai ei. Erilaisilla veden kulkuajan laskentamenetelmillä saadaan määritettyä pohjaveden kulkuaika riskialueelta pohjavedenottamolle (Liu ym. 2019, s. 1).

2 AINEISTOT JA TUTKIMUSMENETELMÄT

2.1 Aineistot

Lähtöaineistoina olen käyttänyt Riipan pohjavesialueen rakenne ja hydrologisten tietojen osalta Geologian tutkimuskeskuksen vuonna 2017 laatimaa ”Riipan pohjavesialueen geologinen rakenneselvitys”-raporttia. Raportissa Riipan rakennetta ja hydrologiaa on selvitetty geofysikaalisilla tutkimusmenetelmillä, kuten maatulkuotauksella, painovoimamittauksella, vasaraseismisellä refraktioluotauksella sekä kevyellä ja raskaalla maaperäkairauksella. Pohjaveden pinnankorkeutta on mitattu havaintoputkilla.

Riipan pohjavedenottamon sieppausalueiden määrittämisen, pohjaveden virtaus- ja kulkeutumismisnopeuksien laskelmien lähtötietoina olen käyttänyt Kälviän Vesiosuuskunnalta saamiani pohjaveden pinnankorkeus- ja kairaustietoja. Lisäksi sieppausalueiden määrittämiseen tarvittiin pohjaveden pumppausmäärätiedot sekä hydraulisen johtavuuden tiedot. Pohjaveden pinnankorkeustiedot on mitattu vuosina 2013 – 2019. Mittausaineistosta laskettiin pohjaveden keskimääräinen pinnankorkeus näiden vuosien aikana. Pohjaveden pinnankorkeustietoja on Riipan pohjavesialueelta, mutta lisäksi Riipan luoteispuolelta Pesäkankaan pohjavesialueelta (Kuva 1).



Kuva 1. Riipan ja Pesäkankaan pohjavesialueiden rajat sininen viiva ja pohjaveden pinnankorkeuksien mittauspisteiden sijainnit punaiset ympyrät. Riipan pohjavedenottamon sijainti on merkitty mustalla viisikulmiolla (Peruskartta © Maanmittauslaitos).

2.2 Tutkimusmenetelmät

2.2.1 ArcMap

Opinnäytetyössäni Riipan pohjaveden virtaussuuntien ja sieppausalueiden arviointi tehtiin ESRI:n ArcMap 10.6 paikkatieto-ohjelmistolla.

ArcMap on yksi keskeinen karttanmuokkaussovellus ArcGIS-desktopin sovelluksista. ArcMap on tietokonepohjainen paikkatietojärjestelmä, joka pystyy tallentamaan ja käsittelemään maantieteellistä tietoa. ArcMap-ohjelmalla voidaan laatia ja käyttää maantieteellisiä karttoja, analysoida kartoitettua tietoa sekä näyttää ja jakaa kartastot visuaalisesti (University of Maryland Libraries 2012, s. 1 – 2).

2.2.2 Riipan pohjaveden pinnankorkeuden interpolointi ja virtaussuunnan määrittäminen

Opinnäytetyössäni pohjaveden pinnankorkeuksien interpolointi on tehty ArcMapin Spatial Analyst-interpolointityökalulla. Pohjaveden pinnankorkeuden interpolointi tehtiin Topo to Raster-interpolointimenetelmällä sekä Kriging-interpolointimenetelmällä.

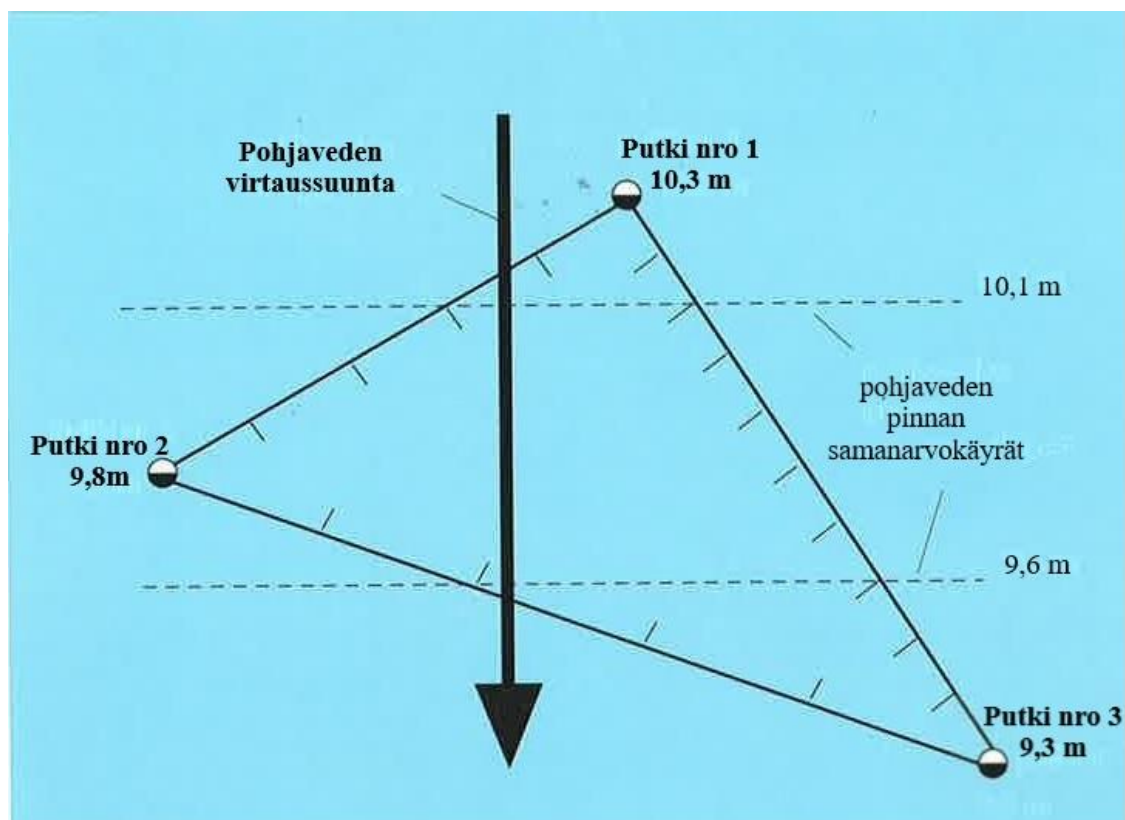
Spatiaalisessa interpoloinnissa tietoaineisto on pistemäisessä pistepilvimuodossa. Interpoloinnissa pistepilvestä rakennetaan visuaalinen kuva. Pistemäinen tietoaineisto voi sisältää paljon erimuotoista tietoa, josta interpolointiin valitaan tarvittava tietaines. Spatiaalisessa interpoloinnissa valitun tiedon pohjalta rakentuu kuvaa muodostava rasteripinta valittujen pisteiden sijaintien välille (Antikainen & Kortsalo 2012, s. 86).

Interpolointeja tehtiin myös IDW-, Natural Neighbor- ja Spline-menetelmillä. Ne eivät kuitenkaan soveltuneet työaineiston käsittelyyn. Niiden tuottamat tulokset sisälsivät paljon virhearvioita ja poikkeamia johdonmukaisista tuloksista.

Pohjaveden pinnankorkeuden interpolointiin tarvittiin Riipan sekä Pesäkankaan pohjaveden pinnankorkeustiedot ja havaintoputkien sijaintitiedot. Näiden tietojen perusteella voitiin interpoloida Riipan pohjaveden pinnankorkeuksia.

Riipan pohjaveden virtaussuunta määritettiin pohjaveden pinnankorkeus interpolointien pohjalta käyttäen Arc Hydro Tools-sovellusta. Sovellus on GIS-pohjainen ohjelmisto, jonka kehittämiseen ovat vaikuttaneet eri teollisuusalojen ja yliopistojen toimijat.

Sovellusta voidaan käyttää hydrologisten tietojen mallinnuksessa (ESRI 2019). Yleensä pohjaveden alueellisten virtaussuuntien määrittäminen vaatii paljon työtä ja on kallista, koska tutkimuksissa tarvitaan paljon havaintoputkia. (Korkka-Niemi & Salonen 1996, s. 45) Yksinkertaisissa tapauksissa, suppealla alueella kolmen kaivon menetelmässä virtaussuunnan määrittämiseen riittää kolme havaintoputkea, joilla voidaan määrittää pohjaveden pinnankorkeudet ja virtaussuunnat. Menetelmässä voidaan käyttää hyödyksi havaintoputkien sijasta kaivoja, jos niitä on valmiiksi tutkimusalueella (Fetter 2001, s. 107) (Kuva 2).



Kuva 2. Kuvassa on kolme havaintoputkea, joista jokainen kertoo pohjaveden korkeuden. Niiden välissä katkoviivalla on merkitty pohjaveden pinnankorkeuksien keskiarvot havaintoputkien välillä. Isolla nuolella on merkitty pohjaveden virtaussuunta (Korkka-Niemi & Salonen 1996 mukaan).

2.2.3 Pohjaveden sieppausalueiden määritysmenetelmät

Pohjavedenottamon sieppausalue on alue, joka kattaa pohjavesimuodostumasta vedenottamoon virtaavan veden. (Burden 2008, s. 1) Pohjaveden sieppausalueiden idea on määrittää, mikä osa pohjavesialueen pohjavedestä tulee vedenottamoon. Jos pohjavesialueella on pohjaveden likaantumista aiheuttava riskialue, voidaan selvittää, virtaako pohjavesi siltä alueelta vedenottamoon. Sieppausalueen tarkoitus on ennalta

ehkäistä pohjaveden likaantumista tarkkailemalla aluetta, josta pohjavettä virtaa vedenottamoon. Pohjaveden virtausnopeusmäärittämisellä voidaan laskea pohjaveden kuluaika pohjavedenottamolle ja samalla tietää, kuinka nopeasti mahdollisilla haittaineilla kestää kulkeutua pohjavedenottamolle (Liu ym. 2019, s. 1).

Yleisesti pohjaveden sieppausalueiden päätarkoituksena on suojella pohjavesialueiden pohjaveden laatua ja samalla pohjavesikaivoja ympäristöriskeiltä. Tavoitteena on myös tutkia ja ennaltaehkäistä pohjaveden pilaantumista mahdollistavat riskitekijät (South Carolina Department of Health 2004, s. 1). Menetelmää käytetään Yhdysvalloissa eritoten julkisilla pohjavesialueilla, joissa ihmiset käyttävät pohjavettä jokapäiväisenä juomavetenä. (Ohio Environmental Protection Agency 1994, s. 8)

2.2.3.1 Sieppausalueen määrittäminen

Pohjaveden sieppausalueen määrittämisen tekoon on useita eri vaihtoehtoja. Alue voidaan määrittää pohjaveden virtausyhtälöitä käyttäen tai hydrologisen kartoituksen perusteella. Sieppausalueen määrittämisen laajuudessa ja kustannuksissa on vaihtelevuuksia. Määrittämisen teko voi olla tutkimusmenetelmästä riippuen helppo ja taloudellisesti halpa tehdä, mutta osa menetelmistä on myös laajoja ja kalliita. Kalleus johtuu lähinnä vaadittavasta lähtöaineistosta, jonka kerääminen voi olla työlästä ja aikaa vievää (Ohio Environmental Protection Agency 1994, s. 38).

Vedenottamoiden sieppausalueen määrittäminen voidaan tehdä:

Numeraalisilla malleilla, jotka simuloivat pohjaveden virtausta. Lisäksi pohjaveden virtausyhtälöt voidaan ratkaista analyyttisillä menetelmillä. Mallinnusohjelmat laskevat pohjaveden virtausyhtälöitä analyyttisellä tai numeerisella mallinnuksella. Virtausyhtälöistä saaduilla arvoilla saadaan määritettyä vedenottamoiden sieppausalueet (Ohio Environmental Protection Agency 1994, s. 48).

Hydrogeologic Mapping eli hydrogeologinen kartoitusmenetelmä perustuu erilaisista karttapohjista saataviin tietoihin. Eri karttojen perusteella voidaan hahmotella pohjaveden virtaussuunta kaivolle ja hahmotella sieppausalueen sijoittuminen sekä rajat (Hansen 1991, s. 25). Menetelmä voi olla hyödyllinen, jos tutkimusalueella ei voida tehdä riittäviä tutkimuksia pohjaveden virtausmallinnuksia varten. (Washington State Department of Health 2010, s. 26)

Omassa työssäni Riipan pohjavedenottamon sieppausalueiden määrittämiseen käytin *The Uniform Flow Equations (UFE)* sekä *Calculated Fixed Radius (CRF)* menetelmiä.

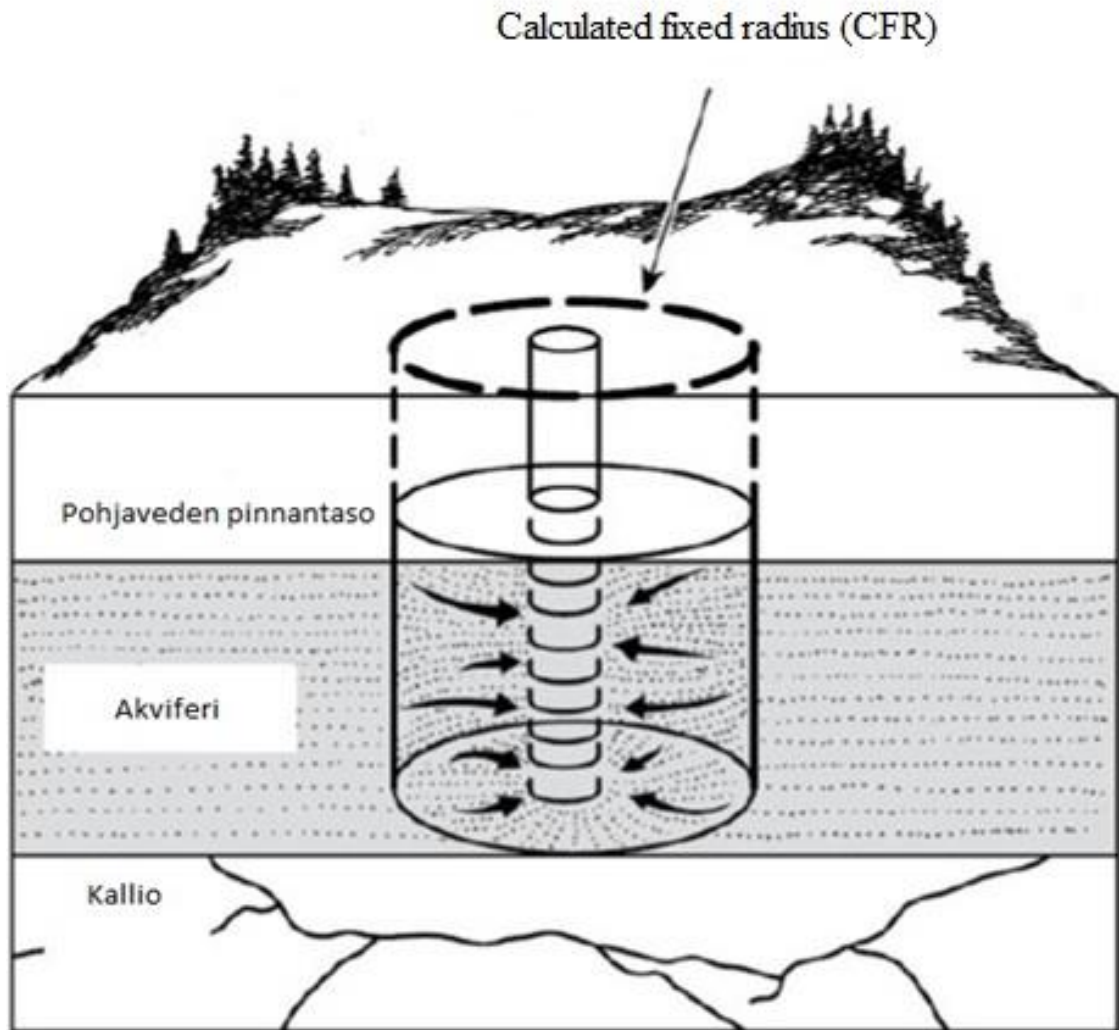
UFE- ja CRF-menetelmät valittiin Riipan vedenottamon sieppausaluemenetelmiksi, koska niiden laskentatapa poikkeaa toisistaan. CFR-menetelmässä sieppausalue muodostettiin Riipan vedenottamon pohjaveden pumppausmääriä mukaillen. UFE-menetelmässä sieppausalueen rajat muodostettiin Riipan pohjaveden virtaussuunnan mukaan. CFR-menetelmässä vyöhykkeet kertovat virtaavan pohjaveden etäisyydestä kaivolle tietyllä ajanhetkellä. UFE-menetelmässä pohjaveden virtausnopeus sieppausalueen sisällä laskettiin käyttämällä Darcyn-lakia.

2.2.3.2 Calculated Fixed Radius - menetelmä (CFR)

Calculated Fixed Radius -menetelmässä lasketaan Volumetric Equation-kaavalla (1) kaivoa ympäröivien säteiden pituudet. Säteellä kuvataan pohjaveden etäisyyttä kaivolle tietyllä ajanhetkellä. Tiedettäessä säteen pituus tietyllä ajanhetkellä voidaan kaivon ympärille piirtää säteen pituusarvojen mukainen ympyrä. Ympyrän reunat kuvaavat pohjaveden etäisyyttä kaivolle tietyllä ajanhetkellä ja sen avulla voidaan selvittää, kuinka kauan pohjavedeltä vie aikaa kulkeutua kaivolle (Kuva 3).

CFR-menetelmän etuna on se, että menetelmä on helppo käyttää määritettäessä pohjavesikaivojen sieppausalueita ja menetelmässä ei välttämättä tarvitse tehdä ollenkaan kenttätutkimuksia. Menetelmässä tarvitaan tiedot mm. pohjaveden pumppausmääristä, maaperän huokoisuudesta sekä kaivon siiviläosan pituudesta. Taloudellisesti menetelmän käyttö on edullista.

Menetelmän haittapuolena on, että menetelmällä saadut tulokset voivat olla tapauskohtaisesti epätarkkoja. Epätarkkuusarvot johtuvat siitä, että CFR-menetelmässä oletuksena on, että pohjaveden gradientti on 0 ja pohjaveden virtausnopeus on tällöin vakio pohjaveden lähestyessä vedenottamoa. Luonnossa pohjaveden gradientti ei ole 0 ja pohjaveden virtausnopeuksissa on eroavaisuuksia. Menetelmä ei ota myöskään huomioon, että pohjaveden virtausnopeus kasvaa pohjaveden lähestyessä vedenottamoa. Tämän seikan huomioimattomuus tuottaa laskennassa liian pienen säteen. (Ohio Environmental Protection Agency 1994, s. 38 - 39).



Kuva 3. Calculated Fixed Radius (CFR)-menetelmä, jossa on kuvattu kaivoa ympäröivä vyöhyke. Vyöhykkeen reuna kertoo, kuinka kauan pohjavedeltä vie aikaa saapua vedenottamolle (Quantitative Hydrogeology kurssimateriaali 2018 mukaan).

CFR-menetelmässä lähtötiedot ovat pumpatun pohjaveden määrä [m^3/vrk], maaperän huokoisuus [-] ja kaivon siiviläosan pituus [m] (1).

$$r = \sqrt{\frac{QT}{\pi n H}} \quad (1)$$

missä r on CFR-vyöhykkeen etäisyys vedenottamolta [m],

Q on pohjaveden pumppausmäärä [m^3/vrk],

T on aika [vrk],

n on maaperän huokoisuus [-] ja

H on kaivon siiviläosan pituus [m].

Omassa työssäni käytin esimerkiksi seuraavia arvoja kaavassa CRF-vyöhykkeiden määrittämiseen:

$$Q \text{ on } 1000 \text{ [m}^3/\text{vrk]}$$

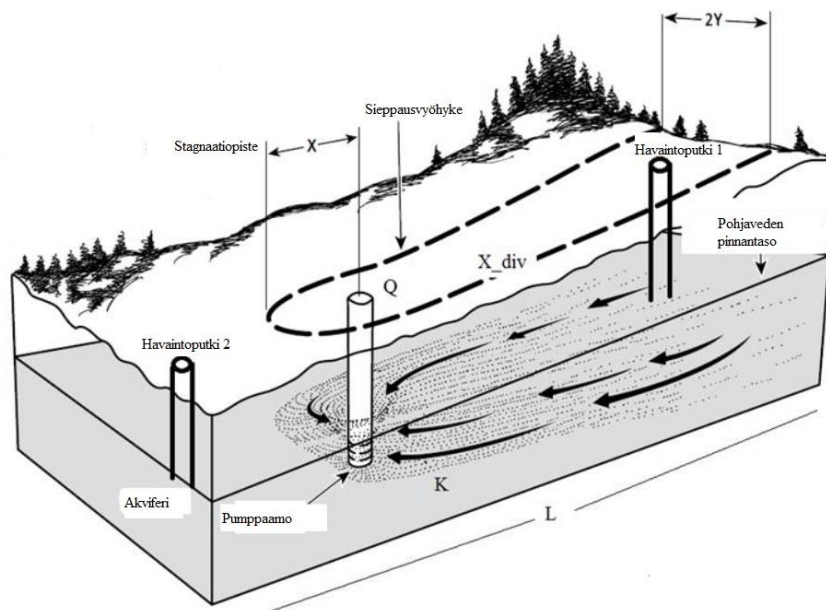
$$T \text{ on } 10 - 1080 \text{ [vrk]}$$

$$n \text{ on } 0,3$$

$$H \text{ on } 25 \text{ [m]}$$

2.2.3.3 The Uniform Flow Equation – menetelmä (UFE)

The Uniform Flow Equations -sieppausaluemenetelmän (UFE-sieppausalue) avulla voidaan määrittää sieppausalue pohjavedenpinnan ollessa kaltevassa tasossa (Kuva 4). UEF-menetelmään tarvitaan tiedot kaivon vuorokautisesta pumppausmäärästä, hydraulisesta johtavuudesta, täysin vedellä kyllästyneen kerroksen paksuudesta ja pohjaveden gradientista.



Kuva 4. The uniform flow equations-sieppausaluemenetelmä kuvattuna. Kuvassa esitetty sieppausalue, joka on määritetty pohjaveden virtaussuunnan mukaisesti havaintoputki 1 ja 2 välille. Kaivo jää näiden havaintoputkien väliin (Quantitative Hydrogeology kurssimateriaali 2018 mukaan).

Menetelmän haittana on, että menetelmä vaatii paljon aluekohtaista tietoa hydrogeologista parametreista, joiden määrittäminen voi viedä paljon aikaa ja olla taloudellisesti kallista (Ohio Environmental Protection Agency 1994, s. 43 - 45).

UFE-menetelmää voidaan soveltaa sieppausalueiden määrittämiseksi paineellisessa ja vapaapintaisissa akvifereissa. Riipan pohjavesimuodostuma on vapaapintainen. Y_{MAX} -kaavalla saadaan laskettua sieppausalueen leveys (2). X_{DIV} -yhtälöllä saadaan laskettua sieppausalueen pituus (3). X_{STAG} -yhtälöllä saadaan määritettyä stagnaatiopiste, eli etäisyys, mihin pituussuunnassa sieppausalue yltää pumppauskaivon jälkeen (4).

Vapaan akviferin UFE-laskukaavakkeet:

$$Y_{MAX} = \frac{QL}{(h_2^2 - h_1^2)k} \quad (2)$$

$$X_{DIV} = \frac{y}{\tan\left(\frac{\pi K(h_2^2 - h_1^2)}{QL}y\right)} \quad (3)$$

$$X_{STAG} = \frac{QL}{\pi(h_2^2 - h_1^2)k} \quad (4)$$

Missä Q on pumppausmäärä [m^3/vrk],
K on hydraulinen johtavuus [m/vrk],
 h_1 ja h_2 on havaintoputkien pohjaveden pinnankorkeustiedot [m] ja
L on h_1 ja h_2 välinen etäisyys [m].

Riipan pohjavesimuodostuma on vapaa-akviferi, joten sieppausalueen määrittämiseen käytettiin vapaapintaisen akviferin laskukaavaa. Käytin seuraavia arvoja sieppausalueen määrittämisessä:

Q on 1000 [m^3/vrk]

K on 10 [m/vrk]

h_2 ja h_1 on 38,917 [m] ja 39,209 [m]

L on 528 [m]

2.2.4 Pohjaveden virtausnopeuden määrittäminen

Darcyn laki on Henry Darcyn vuonna 1856 kehittämä pohjaveden virtausta maaperässä kuvaava yhtälö. Lain rajoittava tekijä on, että sitä voidaan soveltaa vain pohjaveden pyörteettömässä virtauksessa eli laminaarisessa virtauksessa. Maalajit, joissa laminaarista virtausta tapahtuu, ovat sora ja siitä hienorakeisemmat maa-aineslajit (Korkka-Niemi & Salonen 1996, s. 42). Darcyn lakia voidaan käyttää pohjaveden virtausnopeuksien määrittämisessä UFE-sieppausalueen menetelmässä. Sen avulla voidaan määrittää, kuinka kauan pohjavedeltä, jonka virtaus tapahtuu sieppausalueen sisällä, vie aikaa tietyltä pisteeltä vedenottamolle (Ohio Environmental Protection Agency 1994, s. 38 - 39). Darcyn lakia voidaan käyttää monessa eri muodossa. Lakia voidaan soveltaa silloin, kun tiedetään pohjavesialueen hydraulinen gradientti, hydraulinen johtavuus ja maaperän huokoisuus. Näiden tietojen avulla voidaan laskea pohjaveden virtausnopeus pohjavesimuodostumassa (U.S Environmental Protection Agency 1994, s. 52).

Opinnäytetyössäni Darcyn lakia käytettiin pohjaveden virtausnopeuksien selvittämiseksi.

$$Q = -KA \frac{h_2 - h_1}{L} \quad (5)$$

Missä Q on virtaama [m³/vrk],
 K on hydraulinen johtavuus [m/vrk],
 A on virtaaman poikkileikkausala [m²],
 h_2 ja h_1 on havaintoputkien pohjaveden pinnankorkeustiedot [m] ja
 L on havaintoputkien h_2 ja h_1 välinen etäisyys [m].

Virtausnopeus saadaan laskettua yhtälöllä:

$$v = \frac{Q}{n} \quad (6)$$

Missä v on virtausnopeus,
 Q on virtaama [m³/vrk] ja
 n on maaperän huokoisuus [-].

Työssäni laskin usean havaintopisteen välisiä pohjaveden virtausnopeuksia. Käytin opinnäytetyössäni seuraavia arvoja todellisen virtausnopeuden (v) määrittämiseen:

K on 10 [m/vrk]

n on 0,3

h_2 on kaivon vedenpinnankorkeus 38,917 [m]

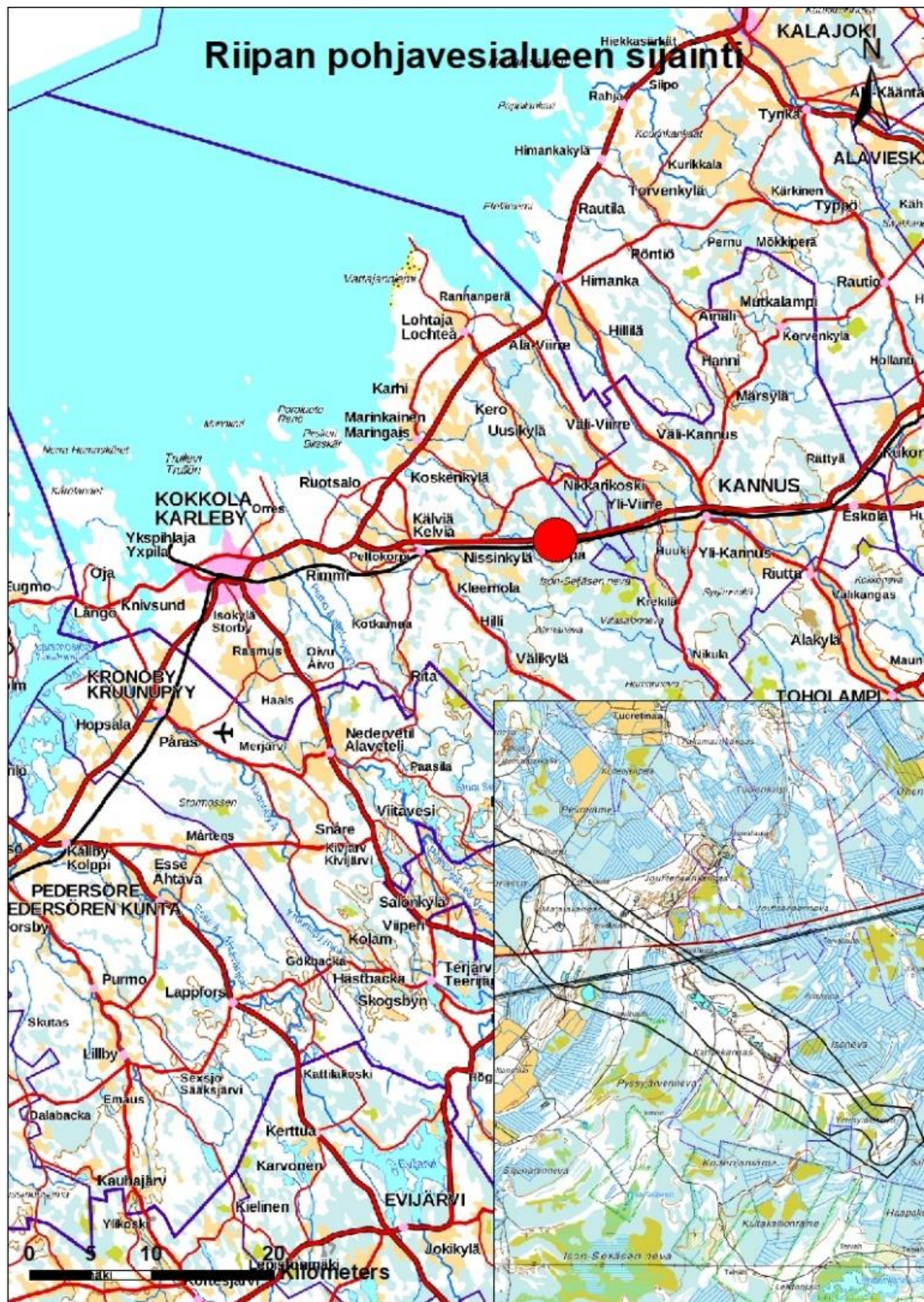
h_1 on havaintoputki 15 vedenpinnankorkeus 39,209 [m]

L on 104,7 [m]

3 RIIPAN GEOLOGINEN TAUSTA

3.1 Riipan pohjavesimuodostuman sijainti

Riipan pohjavesialue sijaitsee Keski-Pohjanmaan maakunnassa ja Kokkolan kaupungin alueella. Pohjavesialue on Kokkolasta itään n. 30 km ja Kannuksesta n. 12 km länteen. Riipan pohjavesialueen läpi kulkee valtatie 28 sekä myös rautatie. Alueen ETRS-koordinaatit ovat N: 7086931 ja E: 338755 (Kuva 5). Riipan pohjavesialue kuuluu Kivijärvi-Lohtajan harjujaksoon. Kivijärvi-Lohtajan harjujakso on osa Sisä-Suomen reunamuodostumaa. Harjujakso suuntautuu luoteesta kaakkoon. (Valpola & Valjus 2017, s. 3)



Kuva 5. Riipan pohjavesialueen sijainti ja pohjavesimuodostuman alue (Peruskartta ja maastokartta © Maanmittauslaitos).

3.2 Muodostuman synty

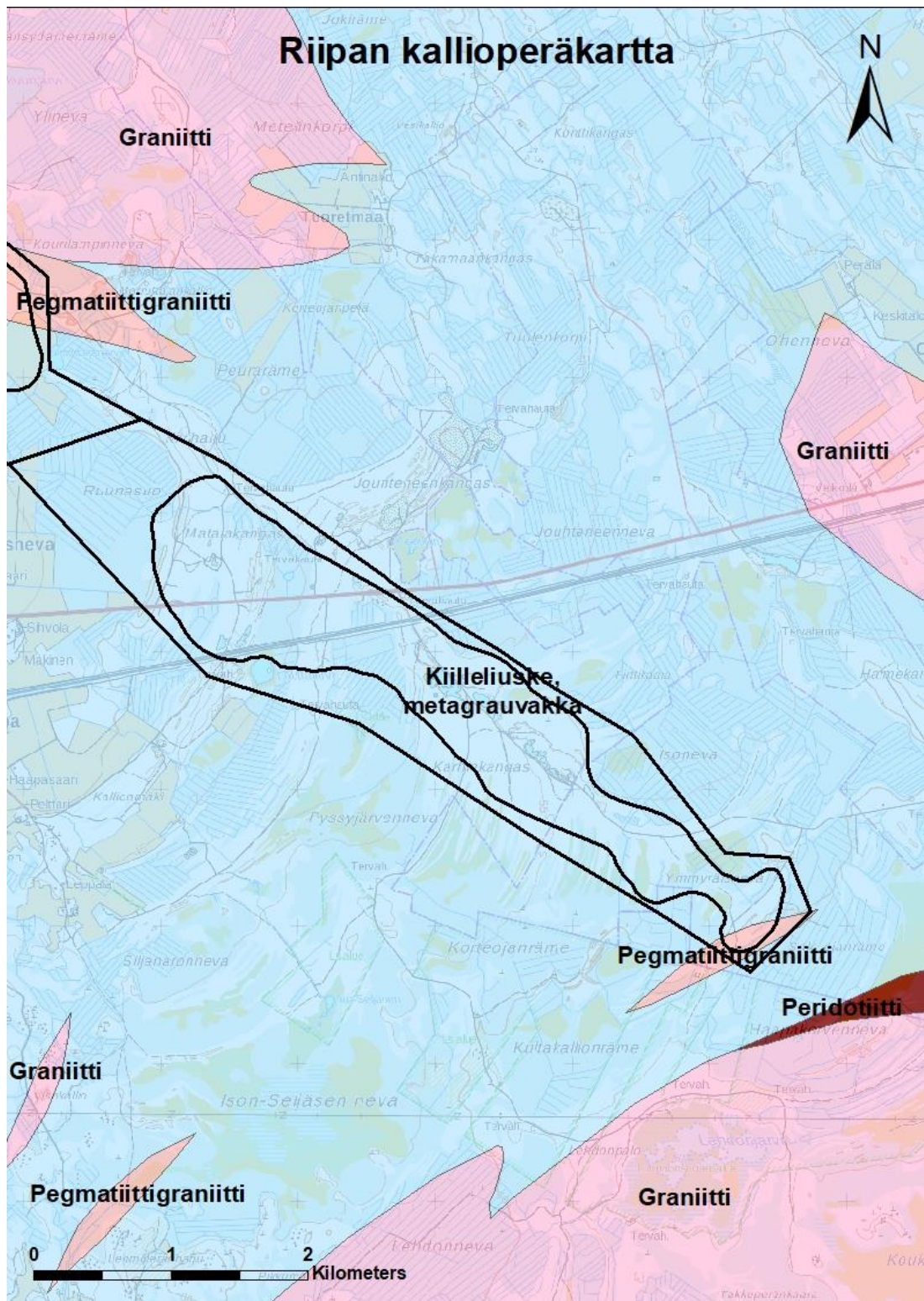
Harjumuodostumat ovat tärkeitä pohjavesimuodostumia ja ne ovat syntyneet mannerjäätiköiden jäätikköjokien kerrostumien ansiosta. (Airaksinen 1978, s. 25) Riipan pohjavesialue kuuluu laajempaan Lohtaja-Kivijärvi-harjujaksoon, jossa mannerjäätikön liikesuunta on ollut luoteesta kaakkoon. (Ahokangas 2019, s.18) Harjumuodostumat ovat syntyneet mannerjäätikössä virranneiden sulamisvesien ansioista. Virtaava sulamisvesi mannerjäätikössä kulutti, pyöristi ja lajitteli kiviainesta. Harjuydin kerrostui mannerjäätikön sisällä tai pohjaosassa oleviin sulamisvesitunneleihin. Harjun ydin koostuu sulamisvesien lajittelemasta hiekasta ja sorasta. Ytimessä voi olla myös pyöristyneitä kiviä sekä kivilohkareita (Geologian tutkimuskeskus 2005).

3.3 Tutkimusalueen rakenne

3.3.1 Kallioperän koostumus ja rakenne

Riipan pohjavesialueen kallioperä on syntynyt Svekofennisen vuorijonopoimutuksen tuloksena 1930 - 1780 miljoonaa vuotta sitten. Pääosin tutkimusalueen kallioperä koostuu kiilleliuskeesta ja metagrauvakasta, mutta alueen kaakkoisosassa on havaittavissa pegmatiittigraniittia (Geologian tutkimuskeskus 2020).

Riipan pohjavesialueen kallionpinnan taso laskee yhtä lailla kaakosta luoteeseen kuin maaperän pinnantaso. Kallionpinnan taso on pohjavesialueen kaakkoisosassa korkeimmillaan 50 – 59 m mpy. Luoteessa Riipan pohjavedenottamon kohdalla kallionpinnan taso on 20 – 30 m mpy. Kallioperän laatu ei vaikuta pohjaveden laatuun, eikä Riipan pohjavesialueella ole tavattu raskasmetallipitoisia mustaliuskeita (Valpola & Valjus 2017, s. 14 - 15) (Kuva 6).



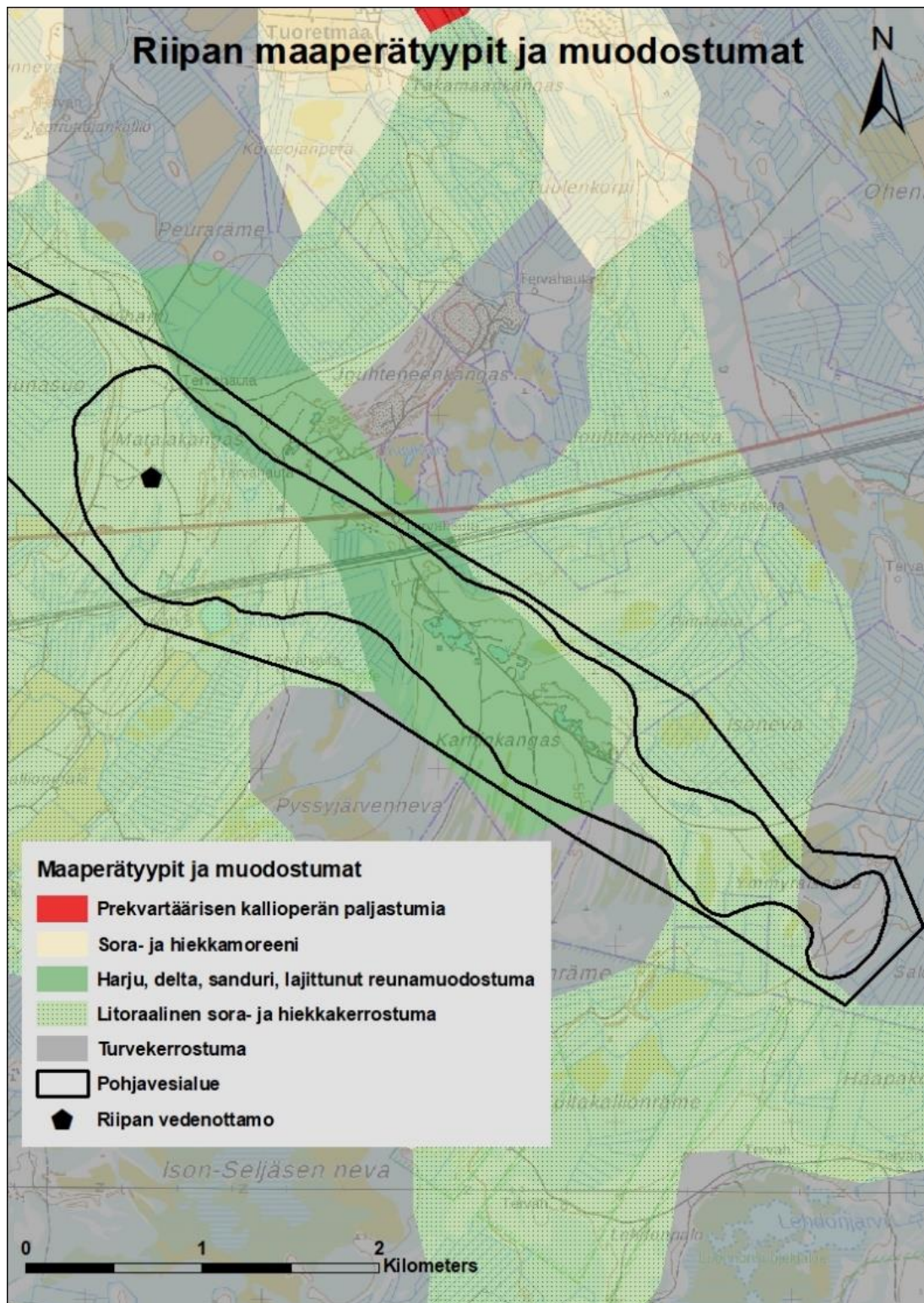
Kuva 6. Riipä pohjavesialueen kallioperäkartta, jossa on esitetty Riipä pohjavesialueen kallioperän koostumus. Pohjavesialueen kallioperä koostuu pääosin kiilleliuskeesta. Alueen kaakkoisosassa on havaittavissa pieni osa pegmatiittigraniittia (Peruskartta © Maanmittauslaitos, Kallioperäkartta © GTK).

3.3.2 Maaperän koostumus

Riipan pohjavesialueen maaperän pintaosa koostuu suurimmaksi osaksi sora- ja hiekkakerrostumista. Sen lisäksi pohjaveden muodostumisalueen koillisosassa on suoalueita (kuva 4). Turvekerrostumien pohjamaalaji vaihtelee seka- ja karkealajitteiseen pohjamaalajiin (Geologian tutkimuskeskus 2020).

Maapeitteen paksuus on suurimmillaan Riipan vedenottamon kohdalla, rautatien ja valtatie 28 välissä sekä Pyssyjärvennevan kohdalla. Muualla maapeitteen paksuus pohjavesialueella vaihtelee 5 – 25 metrin välillä.

Maanpinnan taso laskee pohjavesialueella kaakosta luoteeseen. Kaakossa maanpinnan taso on tasolla +60 m mpy ja luoteessa tasolla +40 m mpy (Valpola & Valjus 2017, s. 16) (Kuva 7).

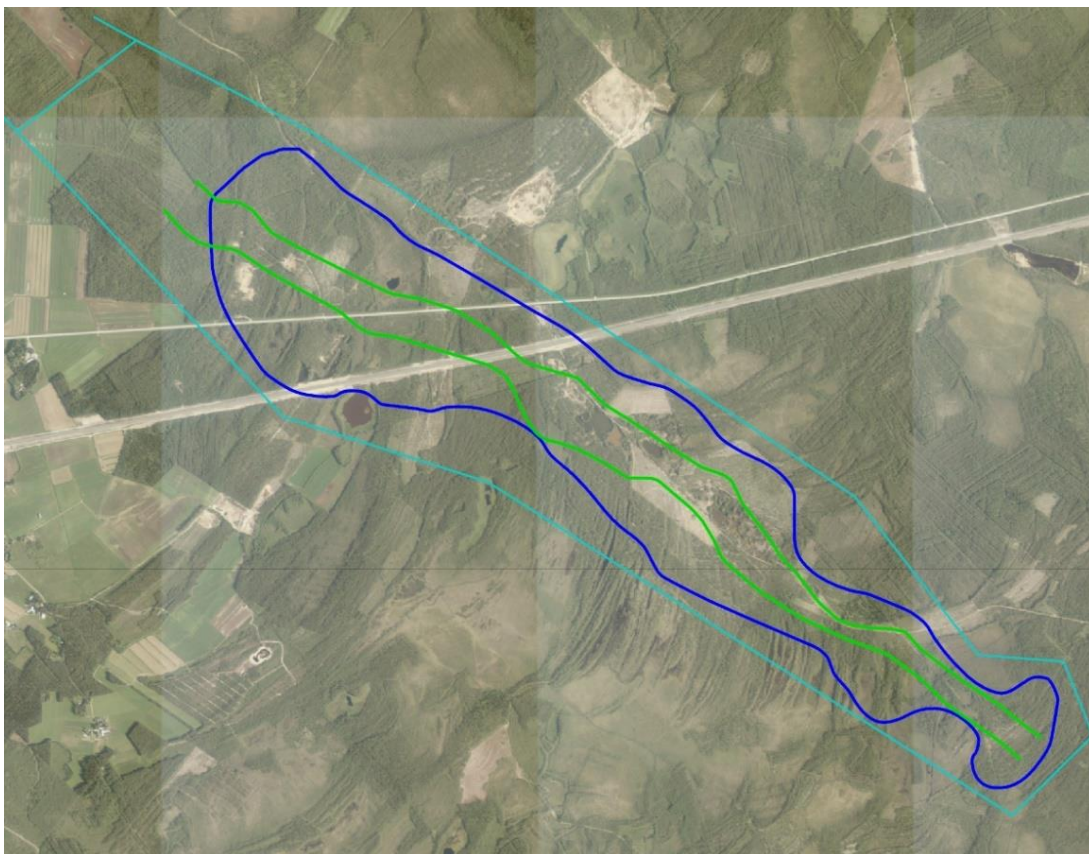


Kuva 7. Riipan pohjavesialueen maaperäkerrostumat sekä muodostumat (Peruskartta © Maanmittauslaitos, Maaperäkartta © GTK).

3.3.3 Harjukerrostumat

Riipan pohjavesialueen läpi kulkee kalliopainanteen päällä karkearakeisesta aineksesta koostuva harjuydin, joka on muodostunut mannerjäätikön sulamisvesien jäätikötunneliin. Kaakkoisosassa harjun ydin koostuu pääasiassa hiekasta. Ytimen arvioidaan olevan mittausten perusteella 100 – 350 metriä leveä ja 5 - 20 metriä paksu (Kuva 8).

Harjuytimen päälle on kerrostunut harjuhiekkää, jonka paksuus on 2 – 15 metriä ja leveys 300 - 1100 m. Harjun runko-osa mittausten mukaan pysyy suhteellisen samanlaisena, eikä siinä tapahdu isompia muutoksia. Alueella tehtyjen maatutkaluotausten perusteella karkea harjuydin ei jatku yhtenäisenä kaakossa sijaitsevaan Hietaseljänharjun pohjavesialueelle (Valpola & Valjus 2017, s. 17).



Kuva 8. Kuvassa Riipän pohjavesialueen harjun osa ilmakuvalla ja rinnevarjostuksella. Harjun runko-osa on kuvassa vihreällä viivalla. Turkoosilla viivalla on merkitty pohjavesialueen raja ja sinisellä viivalla pohjaveden varsinainen muodostumisalue (Ilmakuva ja rinnevarjostuskuva © Maanmittauslaitos).

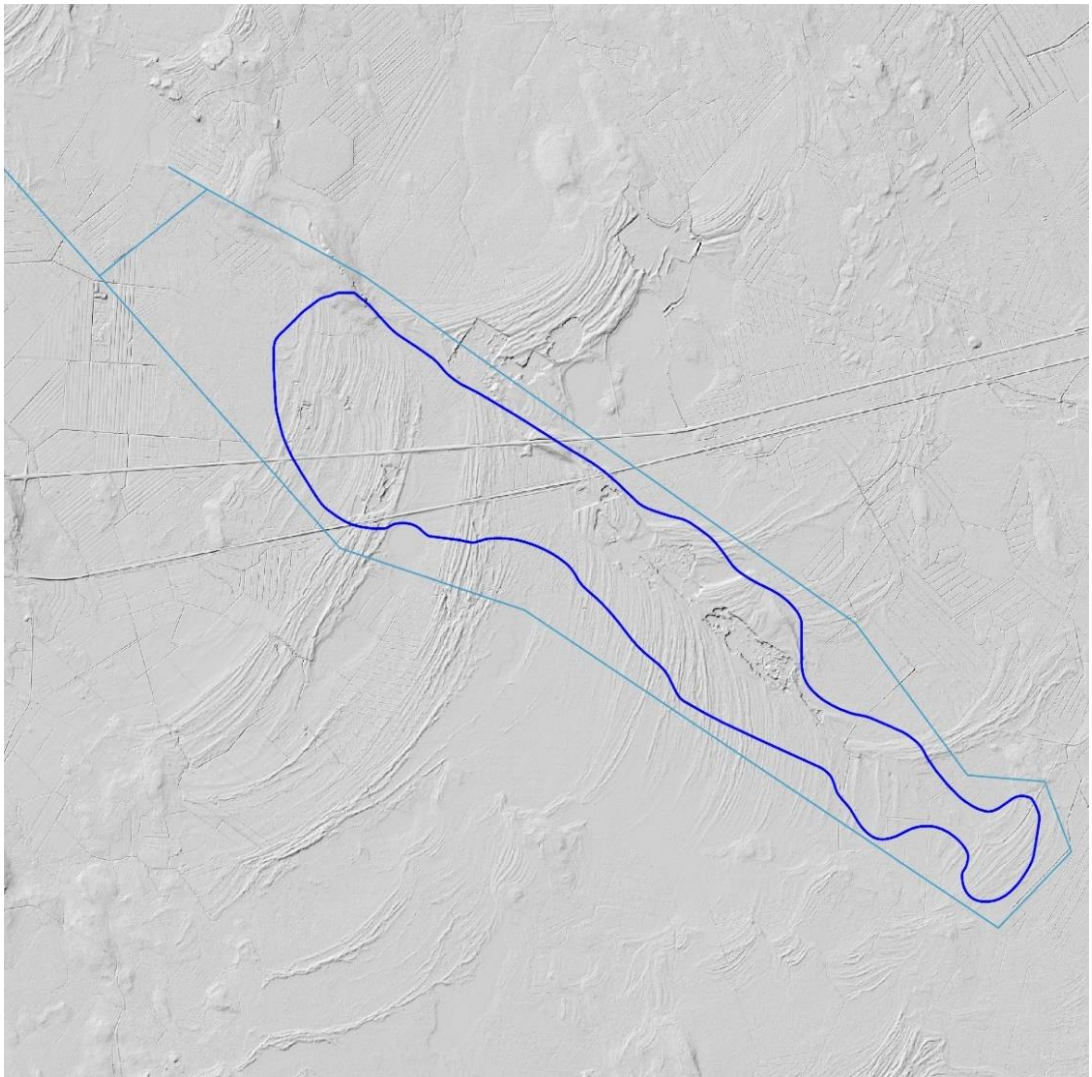
3.3.4 Merivaiheen kerrostumat

Riipan pohjavesialueen peitti 150 – 200 metrinen vesikerros mannerjäätikön peräännyttyä alueelta. Tässä vaiheessa syvään vesikerrokseen muodostui harjumuodostuman läheisyyteen hienohieta- ja hiesukerrostumia.

Pohjavesialueen kaakkoisosassa merivaiheen kerrostumat ovat muutaman metrin paksuisia ja luodetta kohti merivaiheen kerrostumat paksuuntuvat (Valpola & Valjus 2017, s. 20 - 21).

3.3.5 Rantavaiheen kerrostumat

Mannerjäätikön poistuttua jäi suurin osa Länsi-Suomesta veden peittoon. Samalla raskaan mannerjäätikön painama maa alkoi kohota vedestä. Rantakerrostumat syntyivät aallokoiden ja tyrskyjen kasaavasta toiminnasta (Haavisto-Hyvärinen & Kutvonen 2007, s. 30). Riipan pohjavesialueella maa kohosi merenpinnan yläpuolelle 3000 – 4000 vuotta sitten. Rantavoimien vaikutuksesta Riipan pohjavesialuetta peittää hiekkakerrostumia, joita esiintyy laajoina rantakaartoina myös pohjavesialueen ulkopuolellakin (Kuva 9). Rantakerrostumien paksuudet ovat yhdestä metristä kymmeneen metriin. Niitä on kerrostunut paksuimmillaan pohjavesialueen luoteisosaan ja ohuimpina kaakkoisosaan (Valpola & Valjus 2017, s. 21).



Kuva 9. Kuvassa on rinnevarjostuskarttataso, josta on nähtävissä Riipan pohjavesialueella olevat rantakerrostumat. Kerrostumat erottuvat laajoina rantakaartoina (Rinnevarjostus © Maanmittauslaitos).

3.3.6 Moreenit

Riipan pohjavesialueen kallioperän päällä on noin kahden metrin paksuinen moreenikerrostuma. Se peittää suurimman osan pohjavesialueesta. Harjun ydinosa kohdalla moreenikerros puuttuu. Moreenikerrostuman tarkkaa moreenilaatua ei tiedetä, mutta todennäköisesti moreenit ovat laajemmalla alueella tyypillisiä hiekka- ja/tai hietamoreeneja (Valpola & Valjus 2017, s. 21).

4 RIIPAN HYDROGEOLOGISET OLOSUHTEET

Riipan pohjavesialueen pohjavesialuetunnus on 1042952, ja se luokitellaan tärkeään I-luokan vedenhankintaluokkaan. Pohjavesialue on luokiteltu riskialueeksi (Karpalo-tietokanta). Tärkeitä I-luokan pohjavesialueita käytetään tai tullaan käyttämään pohjaveden otossa 20 - 30 vuoden kuluessa. Pohjavedenottoon kuuluu koko pohjavesialue tai pelkkiä osia pohjavesialueesta (Britschgi ym. 2009, s. 14 - 15).

Riipan pohjavesialue sijaitsee Kokkolan kaupungissa. Pinta-alaltaan Riipan pohjavesialue on 6.49 km² ja pohjaveden muodostumisalueen ala on 3.55 km². Pohjaveden antoisuuden arvioidaan olevan vuorokaudessa n. 2000 m³ (Karpalo-tietokanta). Riipan vedenottamo saa ottaa pohjavettä 1000 m³/vrk:ssa. (Lindsberg 2015, s. 26)

Riipan pohjavesimuodostuman harjuydin koostuu karkeasta aineksesta ja pohjaveden virtaus kulkee harjun pituussuunnassa kaakosta luoteeseen. Pohjavettä voi virrata myös pohjavesialueen itäpuolelta Jouhteenkaankalta. Akfiveri-tyypiltään Riipan pohjavesimuodostuma on antiklininen, jolloin pohjavesimuodostuma luovuttaa vettä ympäristöön. Riipan pohjavesimuodostumalla on hydraulinen yhteys luoteessa sijaitsevaan Pesäkankaan pohjavesialueeseen (Lindsberg 2015, s. 24 - 25).

4.1 Riipan vedenottamo

Riipan pohjavedenottamo valmistui vuonna 1977. Vedenottamolle on annettu vuonna 1978 lupa pohjavedenottoon, joka on enintään 1000 m³/d. Vedenottamoon kuuluu kolme kuilukaivoa sekä kaksi siiviläputkea. Vuonna 2010 valmistui Riipan vedenkäsittelylaitos, joka käsittelee myös Pesäkankaan vedenottamon pohjaveden (Lindsberg 2015, s. 26).

4.2 Pohjaveden purkautumispaikat

Riipan pohjavesialueen pohjavedestä suurin osa purkautuu pohjavesialueen luoteisosassa sijaitsevaan Ruunansuohon. Pohjavesialueen reuna-alueilla pohjaveden pinta on lähes maanpinnan tasossa. Vettä voi virrata keväisin lumen sulamisaikana tai sateisina aikoina suoalueilta pohjavesialueelle. Muita pohjaveden purkautumisalueita ovat mahdollisesti Kaakkurinlampi, Lauttajärvi, Asialampi ja ydinharjua ympäröivät suoalueet.

Riipan pohjaveden pinnankorkeus vaihtelee pohjavesialueella + 57 ja + 39 mpy:n välillä. Korkeimmillaan pohjavedenpinta on pohjavesialueen kaakkoisosassa, jossa pohjavesi on 57,4 mpy.

Pohjavesialueen kaakkoisosassa pohjaveden hydraulinen gradientti on 2 – 3 %, joka kertoo hyvistä pohjaveden virtausolosuhteista. Muissa alueella suoritetuista hydraulisen gradientin mittauksissa hydraulinen gradientin arvot olivat 1 % ja 9 %. Suuri 9 % hydraulinen arvo johtuu siitä, että mittaus suoritettiin lähellä Riipan vedenottamo, jonka vaikutuksesta pohjaveden pinta laskee ja pohjaveden virtausnopeus kasvaa (Valpola & Valjus 2017, s. 22 - 23).

4.3 Pohjaveden laatu

Riipan pohjavesimuodostuma on luokiteltu riskialueeksi, sillä sen pohjavedestä on löydetty lyijy-, nikkeli-, sinkki-, antimoni- ja arseenipitoisuuksia. Käytöstä poistetun ampumarata-alueen lähistöltä keväällä 2015 otetusta pohjavesinäytteestä löytyi talousveden laatuvaatimuksen ylittäviä lyijy-, rauta-, mangaanipitoisuuksien arvoja. Myös kemiallisen hapenkulutuksen arvot ylittivät talousveden laatuvaatimukset. Kohonneita rauta- ja mangaanipitoisuuksia on havaittu pohjavesimuodostuman syvissä pohjavesikerroksissa sekä rautatien lähistöllä. Kohonneiden rautapitoisuuksien arvot laskevat pohjaveden pintakerroksissa Riipan vedenottamon alueella. Siksi vedenottamalla pohjavedenotto tapahtuu pohjavesimuodostuman pintaosista. Riipan pohjavesialueen ympärillä on paljon suoalueita, etenkin pohjavesialueen kaakkoisosassa. Pohjaveteen voi soiden takia imeytyä pintavesiä (Lindsberg 2015, s. 27 - 28).

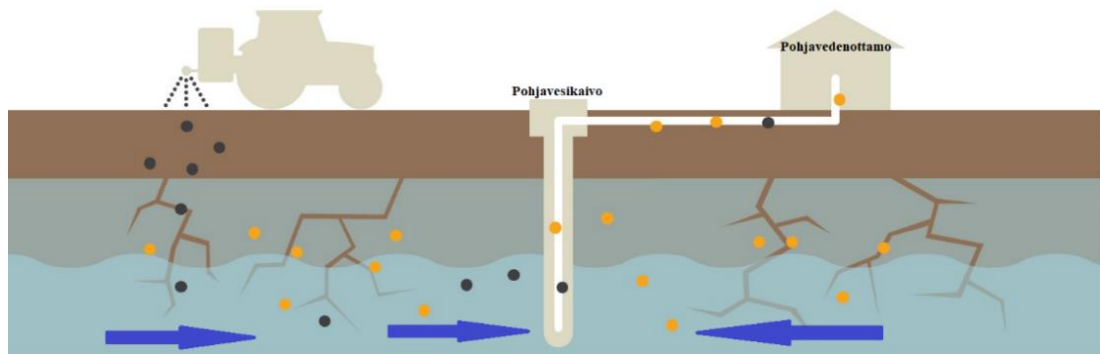
5 YLEISTÄ POHJAVESIEN PILAANTUMISESTA

5.1 Pohjavesialueet Suomessa

Ympäristöministeriön vuonna 2013 teettämän tutkimuksen mukaan Suomessa on noin 3800 vedenhankintaan tärkeäksi soveltuvaa pohjavesialuetta, jotka ovat tilaltaan hyviä. Näistä 353 pohjavesialuetta ovat riskialueiksi luokiteltuja ja 98 pohjavesialuetta ovat tilaltaan huonoja. Pohjavesialueiden tilojen riskialttius on kasvanut ihmistoiminnan seurauksena etenkin Etelä-Suomessa ja taajamaseuduilla. Pohjaveden tilan riskialttiuteen vaikuttavat mm. pilaantuneet maa-alueet, teiden talvikunnossapito, mahdollisten torjunta-aineiden käyttö, öljytuotteiden varastointi, teollisuusalueet ja kotieläintaloudet (Ympäristöministeriö 2013).

Suomessa ihmistoiminnan vaikutuksesta johtuvia pohjavesialueiden pilaantumisia on muuhun Eurooppaan verrattuna vähän. Rannikkoalueilla geologisista syistä johtuvia pohjaveden pilaantumisriskejä ovat raudan ja mangaanin liukeneminen pohjaveteen. Rapakivialueilla pohjavedessä voi olla korkeita fluoridipitoisuuksia. Uraani-, radon-, fluoridi- ja arseenipitoisuuksien kasvua pohjavesissä voidaan tavata kallioporakaivoissa (Kuva 10).

Suomessa parhaat pohjavesivarat ovat muodostuneet hiekka- ja soramuodostumiin. Tällaiset pohjavesivarat ovat yhdyskunnalle tärkeitä vedenhankintapaikkoja, mutta samalla pohjavesialueille on sijoittunut paljon ihmistoimintaa. Hiekka- ja soramuodostumat ovat rakennuksille hyviä rakennuspohjia. Niistä saadaan rakennusmateriaalia ja niiden päälle on rakennettu paljon aktiivisessa käytössä olevia tiestöjä (Gustafsson ym. 2006, s. 8).



Kuva 10. Pohjaveden pilaantumista aiheuttavat tekijät. Mustat ympyrät kuvaavat ihmistoiminnasta peräisin olevia haitta-aineita. Keltaiset ympyrät ovat kallioperästä pohjaveteen liukenevia aineita. Aineet kulkeutuvat pohjaveden mukana pohjavesikaivoon (Terveyden ja hyvinvoinnin laitoksen 2019 mukaan).

5.2 Pohjaveden pilaantuminen

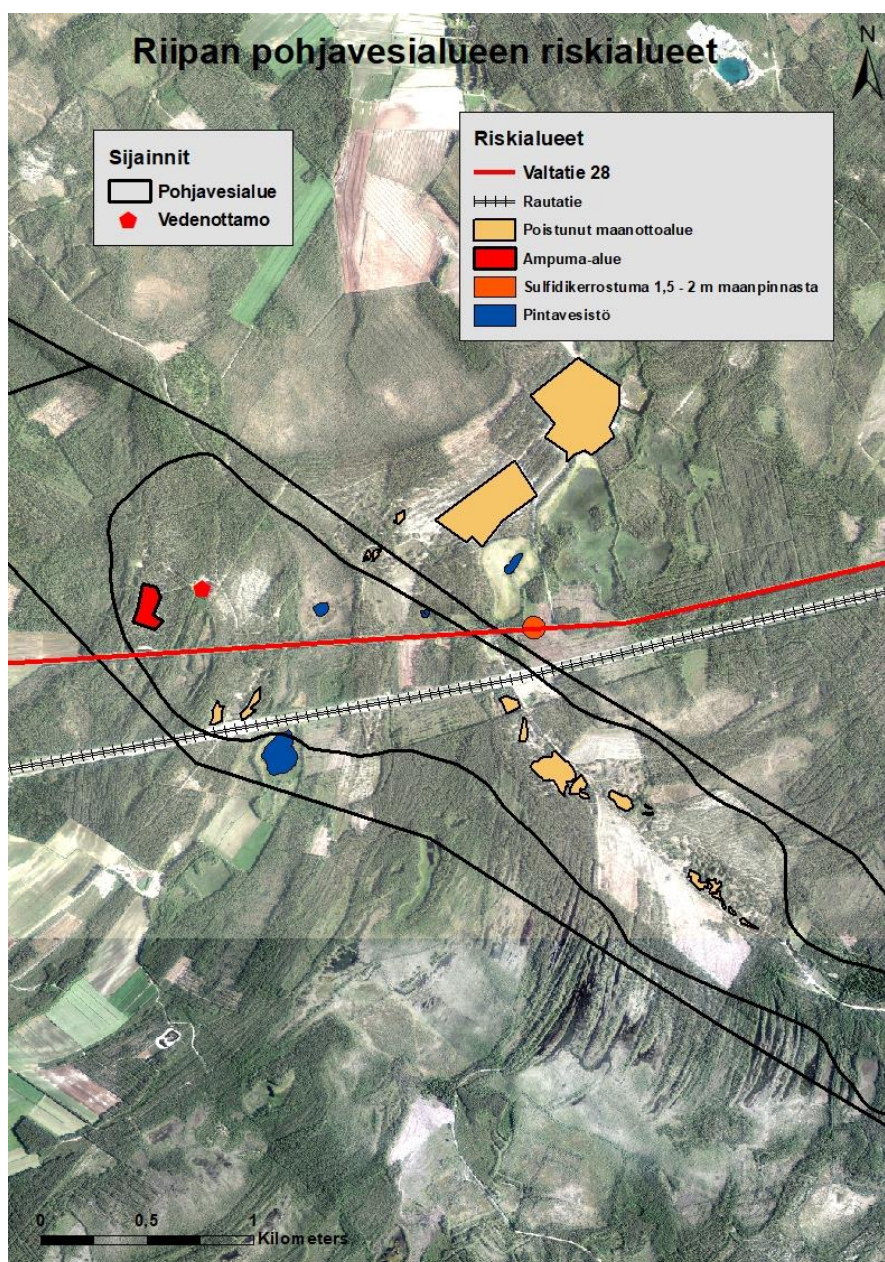
Pohjaveden pilaantumisella tarkoitetaan pohjaveden laadun muuttumista. Pohjaveden pilaantuessa on siihen liennut maaperästä haitallista ainetta, ja haitta-aineen pitoisuus on pohjavedessä suurempi kuin luonnollisesti. Pilaantuneella pohjavedellä voi olla haitallisia ja vaarallisia vaikutuksia ihmisten terveydelle ja ympäristölle. Pilaantumistapauksissa suurin osa haitta-aineista on sitoutunut maaperään ja pieni osa on liennut pohjaveteen.

Ihmistoiminnalla on suuri merkitys pohjavesien pilaantumistapauksissa. Pohjaveden pilaantumisen riski kasvaa, jos pohjavesialueella aktiivisesti käsitellään tai kuljetetaan pohjaveden laadulle haitallisia aineita. Tällaisilla alueilla riskiä kasvattaa myös se, jos pohjaveden hydrologinen johtavuus on hyvä ja pohjavettä käytetään aktiivisesti. Pohjaveden laatu voi myös muuttua, jos pohjavesialueella tapahtuu maanottoa tai ojitusta (Reinikainen 2003, s. 8 -10)

Suomessa tapahtui 1976 - 2000 vuosien välillä 330 merkittävän suurta pohjavesien pilaantumistapausta. Tapahtuneista pilaantumistapauksista 46,6 % johtui liikenteen aiheuttamista tapauksista ja 22,7 % johtui yritystoiminnasta. Pilaantumistapauksia aiheuttivat huoltoasemat, kyllästämöt, öljyvuodot, metalliteollisuus, pesulat ja kemianteollisuus (Ylönen 2005, s. 48) Pilaantuneiden pohjavesialueiden lukumäärä voi olla kuitenkin huomattavasti suurempi, koska pohjaveden laatututkimuksia on suoritettu ainoastaan vain vedenottamoilla, joiden laatututkimuksissa on vain keskitytty tarkkailemaan talousveden laatumuuttujia (Reinikainen 2003, s. 8).

6 RIIPAN POHJAVEDEN PILAANTUMISRISKIÄ AIHEUTTAVAT RISKIALUEET

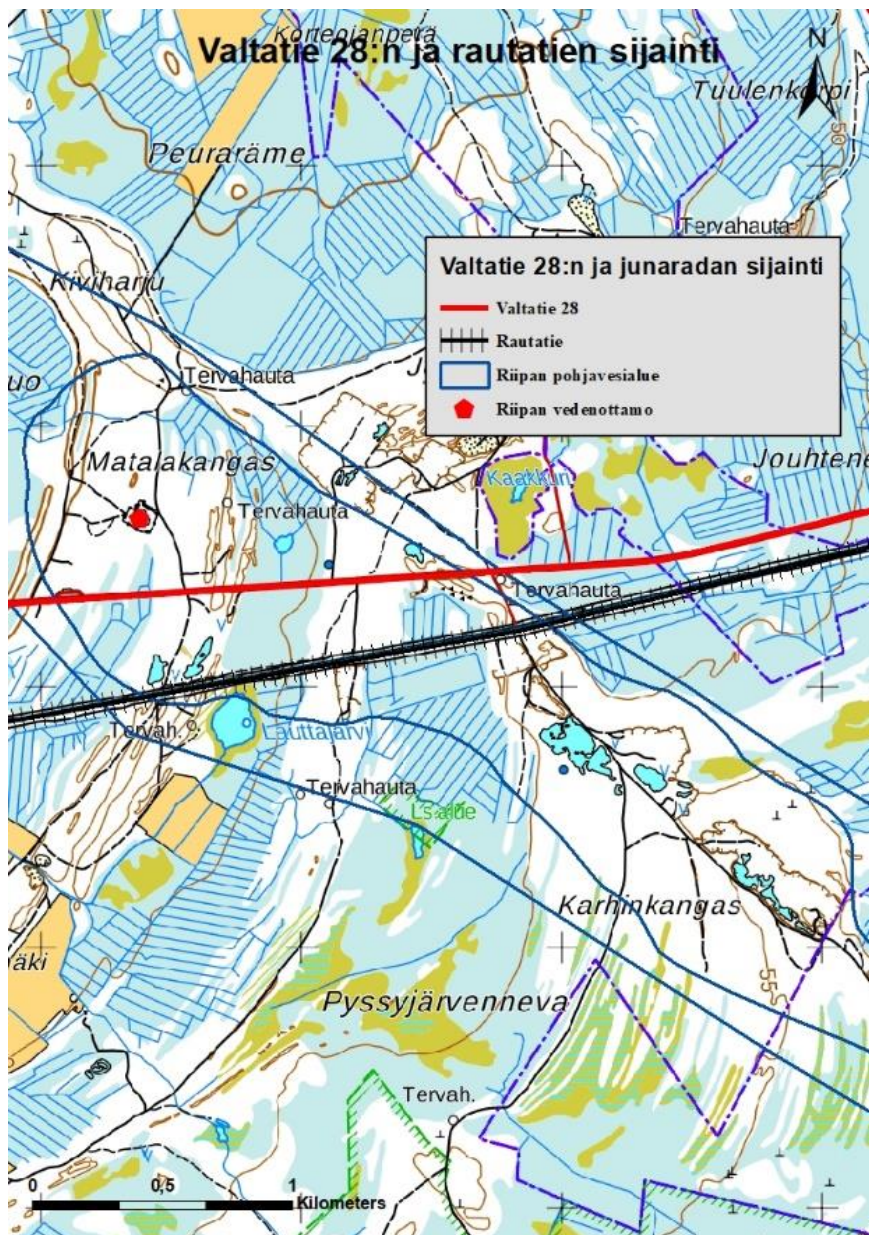
Riipan pohjavesialueen pohjaveden laatua vaarantavia riskikohteita ovat pohjavesialueen läpi kulkevat valtatie 28 ja rautatie, Riipan pohjavedenottamon vieressä käytöstä poistunut ampumarata-alue, useat kunnostamattomat ja käytöstä poistuneet maanottoalueet, happamat sulfaattimaat, pintavesistöt ja ojitukset (Valpola & Valjus 2017, s. 26 - 27) (Kuva 11).



Kuva 11. Riipan pohjavesialueella pohjavedelle luokitellut riskialueet, jotka voivat olla haitaksi pohjaveden laadulle (Ilmakuva © Maanmittauslaitos).

6.1 Tieliikenne

Riipan pohjavesialueen läpi kulkee aktiivisessa käytössä oleva valtatie 28 (Kuva 12). Tiellä kuljetetaan ympäristölle haitallisia aineita (Lindsberg 2015, s. 25). Maanteillä kuljetettavat vaaralliset aineet ovat riskitekijöitä pohjavesien laadulle onnettomuustapauksissa, jos ympäristölle vaarallisia aineita pääsee maaperään ja suodattumaan pohjavesiin. Myös maanteiden käyttö ja kunnossapito ovat kuormittavia tekijöitä maaperälle ja voivat johtaa pohjavesien laadun heikentymiseen (Karvonen ym. 2012, s. 69).



Kuva 12. Riipan pohjavesialueen läpi kulkevien valtatie 28:n ja rautatien sijainnit. Punaisella viivalla merkitty valtatie 28:n ja mustalla viivalla rautatien sijainnit. Riipan pohjavesialueen ja muodostuman rajat on merkitty sinisellä viivalla (Peruskartta © Maanmittauslaitos).

Suomessa alettiin 1950-luvun alussa käyttää teiden liukkauden torjuntaan ja pölyämisen estoon natriumkloridia (NaCl). Suolauksen käyttö pysyi vähäisenä aina 1980-luvun alkupuolelle. Vuonna 1983 aloitettiin teiden ennakkosuolaus, jolla pyrittiin ehkäisemään tien pintojen jäätymistä. Kalsiumkloridin käyttö alkoi vähitellen nousta. Tämä johtui päätöksestä, jonka mukaan kaikkien pääteiden tulisi pysyä sulina vuoden ympäri. 1990-luvun alkupuolella heräsi tietoisuus tiesuolauksen aiheuttamista riskeistä pohjavesialueille, minkä jälkeen suolan käyttöä on pyritty vähentämään Suomessa. Myös vähemmän haitallisen tiesuolan käyttö on pilannut pohjavesiä Suomessa kuin myös muualla maailmassa.

Tiesuolaus aiheuttaa pohjavesissä kloridipitoisuuden kasvua. Tämä voi johtaa pohjaveden syövyttävyyden kasvuun ja samalla joissain tapauksissa se voi lisätä korroosiohaittoja pohjavesissä. Kloridipitoisuudet pohjavedessä ovat suurimmillaan kesä-elokuussa ja korkeita kloridipitoisuusarvoja mitataan yleensä tienvarsilla olevista yksittäisistä kaivoista (Hellstén & Nystén 2001, s. 7 - 9).

Pohjavesimuodostuman koko vaikuttaa pohjaveden suolaantumiseen. Suuri pohjavesimuodostuma ja sen vesivarasto tarkoittavat sitä, että pohjavesi suolautuu hitaammin. Pienemmissä muodostumissa tilanne olisi toisinpäin. Sama pätee myös pohjavesimuodostuman puhdistautumisessa. Suuren pohjavesimuodostuman puhdistautuminen suolasta kestää kauemmin (Nystén & Hänninen 1997, s. 14).

Pohjaveden laadun parantuminen tiesuolauksen vähentämisen jälkeen näkyy hydrologisen kierron kautta mittaustuloksissa vuosien viiveellä. Matemaattisilla malleilla on pystytty ennustamaan kloridin kulkeutuminen pohjavesimuodostumalle. Mallien muodostamiseen hyödynnetään pohjavesialueen pohjaveden pinnan vaihteluja ja geologista rakennetta. Mittaus- ja mallinnustulosten perusteella voidaan päätellä, että suolautuneen pohjaveden puhdistuminen luonnontilaiseksi voi viedä pohjavesimuodostumassa kymmeniä vuosia, vaikka pohjavesialueella olisi lopetettu tiesuolaus (Kinnunen 2005, s. 64).

6.2 Junaliikenne

Riipan pohjavesialueen valtatie 28:n eteläpuolella kulkee Kokkola-Ylivieskan välinen rautatie, joka on aktiivisessa käytössä (Kuva 13).

Väyläviraston tilastojen mukaan Suomessa vedenhankinnan kannalta tärkeillä luokan 1 ja 2 pohjavesialueilla kulkee rataverkkoa yli 200 kilometriä. Suurin pohjaveden pilaantumisriski raideliikenteessä liittyy vaarallisten aineiden kuljetuksiin ja etenkin kemikaalikuljetuksiin. Radanpidossa maaperän pilaantumisen riski kasvaa vanhoilla tankkauspaikoilla, polttoainesäiliöiden ja öljynerotuskaivojen lähialueilla, dieselkaluston seisontaraiteilla, kemikaalivaunujen järjestelyraiteilla ja vaihteiden ympäristössä (Väylävirasto 2019).

Riski ympäristölle vaarallisten aineiden pääsystä maaperään ja siitä pohjaveteen on mahdollista onnettomuustilanteissa ja aineita kuljettavien säiliöiden rikkoutumistapauksissa. Vakavissa onnettomuuksissa ympäristöön voi joutua suuria määriä haitallisia kemikaaliaineita, jotka voivat kulkeutua maaperästä aina pohjaveteen saakka.

Torjunta-aineita Suomessa käytettiin yleisesti ratavarsien huollossa ennen 1970-lukua rikkakasvien ja vesakkojen torjuntaan. 1970-luvulla päätettiin lopettaa torjunta-aineiden käyttö torjuntamenetelmänä, koska ymmärrettiin niiden vaikutukset ympäristöön ja pohjavesiin. Torjunta-aineiden käytöllä voi olla pitkäikäiset tai pysyvät vaikutukset pohjaveden laatuun. Nykypäivänä pohjavedessä voidaan havaita pieniä torjunta-ainemääriä, vaikka torjunta-aineiden käytöstä on jo luovuttu (Ratahallintokeskus 2008, s. 14 – 15).



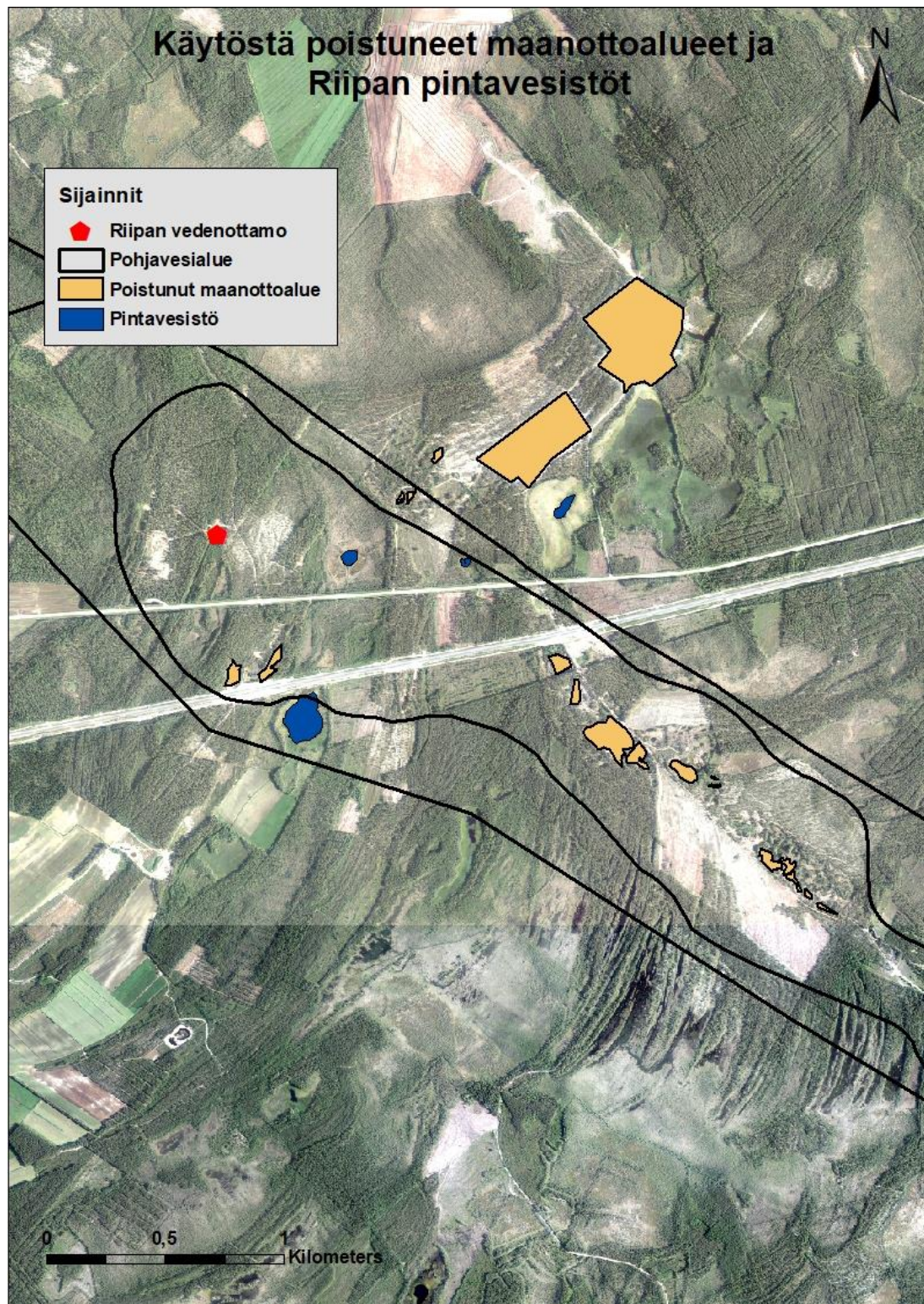
Kuva 13. Riipan pohjavesialueen läpi kulkeva rautatie (Mikko Mäkräinen 20.6.2019).

6.3 Maanotto

Riipan pohjavesialueella on yhteensä 20 käytöstä poistunutta maanottoaluetta. Suurimmalla osalla maanottoalueista ei ole tehty jälkihoitotoimenpiteitä ja useissa ottopaikoissa maa-aineksen otto on ulottunut pohjavedenpinnan alapuolelle. Käytöstä poistuneiden maanottoalueiden pinta-ala on 6 % pohjaveden muodostumisalueen pinta-alasta. Kahdella ottoalueella kunnostustarve on suuri ja kahdeksalla kohtalainen. Pohjavesialueella suuren kunnostustarpeen omaavat maanottoalueet ovat muuttuneet lammiksi, joissa vesi on ruskeaa ja sameaa, johtuen hitaasta ja heikosta veden vaihtuvuudesta (Kuva 11). Veden hidas vaihtuvuus lammikoissa voi johtaa bakteerien ja levien kasvuun, mikä voi heikentää Riipan pohjaveden hygieenistä laatua (Valpola & Valjus 2017, s. 26 - 27).

Maa-aineksen ottaminen voi johtaa pohjaveden muodostumisalueella pohjaveden laadun heikkenemiseen sekä likaantumisriskin kasvamiseen. Suomessa on tuhansia vanhoja maanottoalueita, jotka sijaitsevat pohjaveden muodostumisalueella ja joissa ei ole huolehdittu jälkikäytöstä (Ympäristöministeriö 2009, s. 7). Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus ovat tehneet tutkimuksia Suomessa maanoton vaikutuksista pohjaveden laatuun. Suurimmat tekijät pohjaveden laadun vaihteluihin ovat maanottoalueen koko sekä pohjaveden päälle jätettävän maaperäkerroksen paksuus. Tutkimukset osoittavat, että laajoilla maanottoalueilla nitraatti-, kloridi-, sulfaatti- ja hiilidioksidipitoisuudet, alkaliniteetti ja sähkönjohtavuus kasvavat pohjavesissä. Myös pH-arvot laskevat, metallipitoisuudet kasvavat, happipitoisuus sekä pohjaveden lämpötilat kasvavat ja pohjavedessä esiintyy useammin bakteereja (Suoja 2017, s. 12).

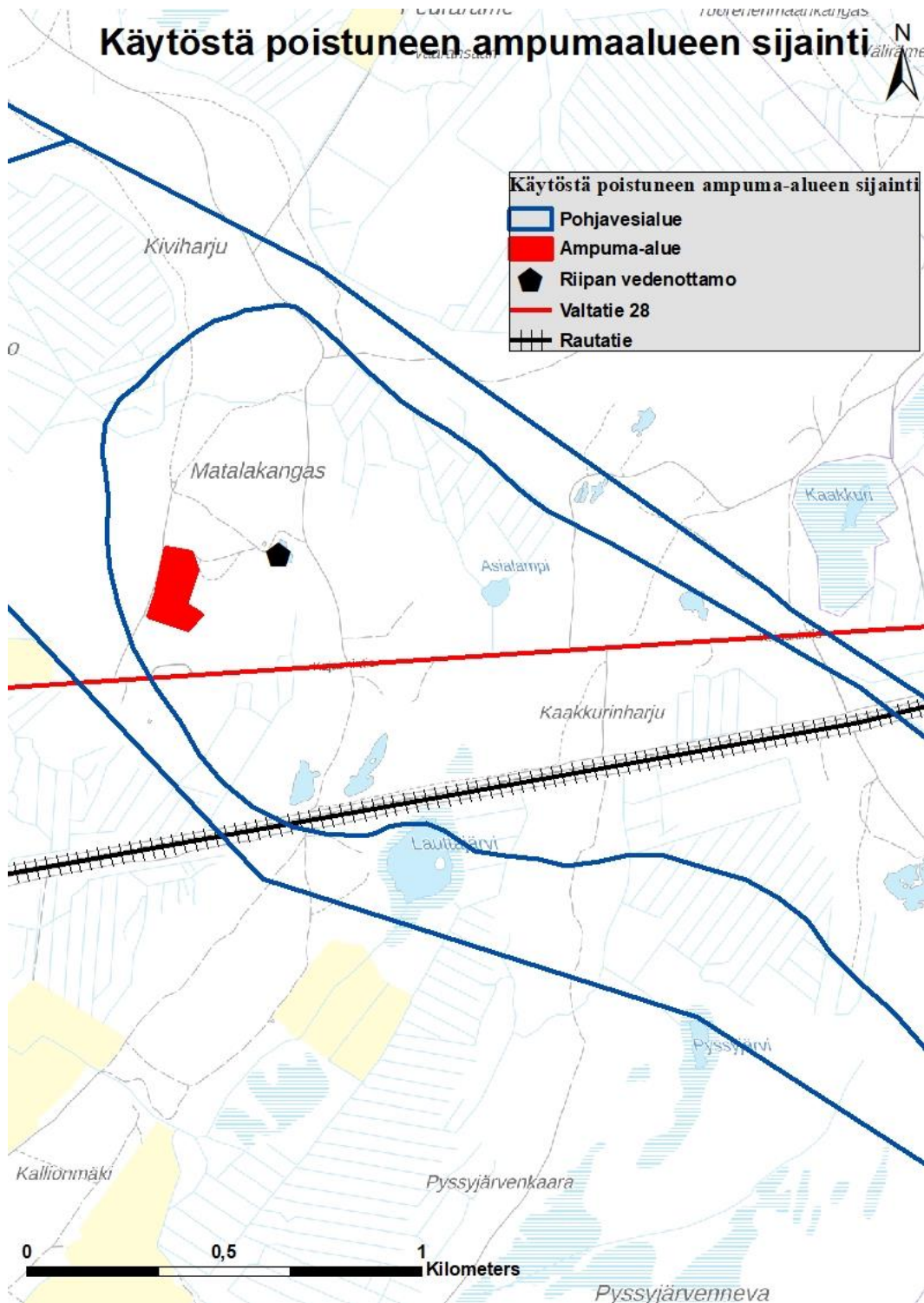
Jälkihoito maanoton loputtua on tärkeää, koska heikosti hoidettu jälkihoito tai sen jättäminen kokonaan tekemättä voi vaikuttaa pohjavesialueen veden laadun muutoksiin pysyvästi. Jälkihoidon tavoitteena on vähentää pohjaveden likaantumisriskiä ja pyrkiä kestäväen käytön periaatteeseen. Tällä pyritään takaamaan pohjavettä sekä määrällisesti että laadullisesti tuleville sukupolville (Ympäristöministeriö 2009, s. 7).



Kuva 11. Riipan pohjavesialueella ja sen läheisyydessä olevien käytöstä poistuneiden ja kunnostamattomien maanottoalueiden sijainnit keltaisena. Sinisellä pohjavesialueella olevien pintavesistöjen sijainnit (Ilmakuva © Maanmittauslaitos).

6.4 Ampumarata-alue

Riipan pohjavesialueella on ollut ampumarata-alue, joka on kuitenkin suljettu jo yli 25 vuotta sitten. Käytöstä poistettu ampumarata-alue sijaitsee aivan Riipan pohjavedenottamon läheisyydessä (Kuva 12).



Kuva 12. Punaisella merkitty Riipan pohjavesialueella oleva käytöstä poistunut ampumarata-alueen sijaintikartta (Taustakartta © Maanmittauslaitos).

Suomessa suuri määrä ampumarata-alueista sijaitsee pohjavesialueilla, jotka ovat tärkeitä vedenhankinnassa. Ampumarata-alueet on rakennettu harju-alueille, sillä vanhojen sorakuoppien reunoja käytettiin taustavalleina. Ampuradat, jotka sijaitsevat pohjavesialueen päällä, aiheuttavat pohjaveden pilaantumiseriskä (Naumanen ym. 2002, s. 18).

Ampumarata-alueilla käytettävistä hauleista ja luodeista ympäristöön leviää pääasiassa lyijyä (Pb). Muita aineita, jotka ovat riskitekijöitä, ovat antimoni (Sb), arseeni (As), kupari (Cu) ja sinkki (Zn). Ammunnassa käytettävistä savikiekoista voi myös levitä ympäristöön PAH-yhdisteitä. Haulit koostuvat pääasiassa 97 % lyijystä, 1 – 3 % antimonista ja 0,1 – 0,5 % arseenista. Maaperässä lyijyn kulkeutumiseen vaikuttavat tekijät ovat maaperän rakeisuus, vedenläpäisykyky, ominaispinta-ala, mineraalikoostumus, orgaanisen aineksen ja saven määrä sekä maaperän happamuusaste (Naumanen ym. 2002, s. 27 - 33).

Lyijyn ja muiden raskasmetallien esiintymiseen pohjavesissä vaikuttaa pääasiassa se, kuinka paksuja maakerrokset ovat pohjavedenpinnan yläpuolella ja kuinka hyvin maakerrokset pidättävät raskasmetallien pääsyä pohjaveteen. Lyijy ja muut raskasmetallit voivat liukoisessa muodossa kulkeutua pohjaveteen ja täten liikkua pohjaveden virtauksen mukana. Yleisesti Suomen pohjavedet sisältävät vähän lyijyä (Naumanen ym. 2002, s. 35).

Riipan ampumarata-alueelta on vuonna 2015 toukokuussa otettu havaintoputkesta pohjavesinäyte, josta paljastui kohonneiden lyijy-, rauta- ja mangaanipitoisuuksien nousua, joka ylittää talousveden laatusuositukset. (Lindsberg 2015, s. 27) (Kuva 13)



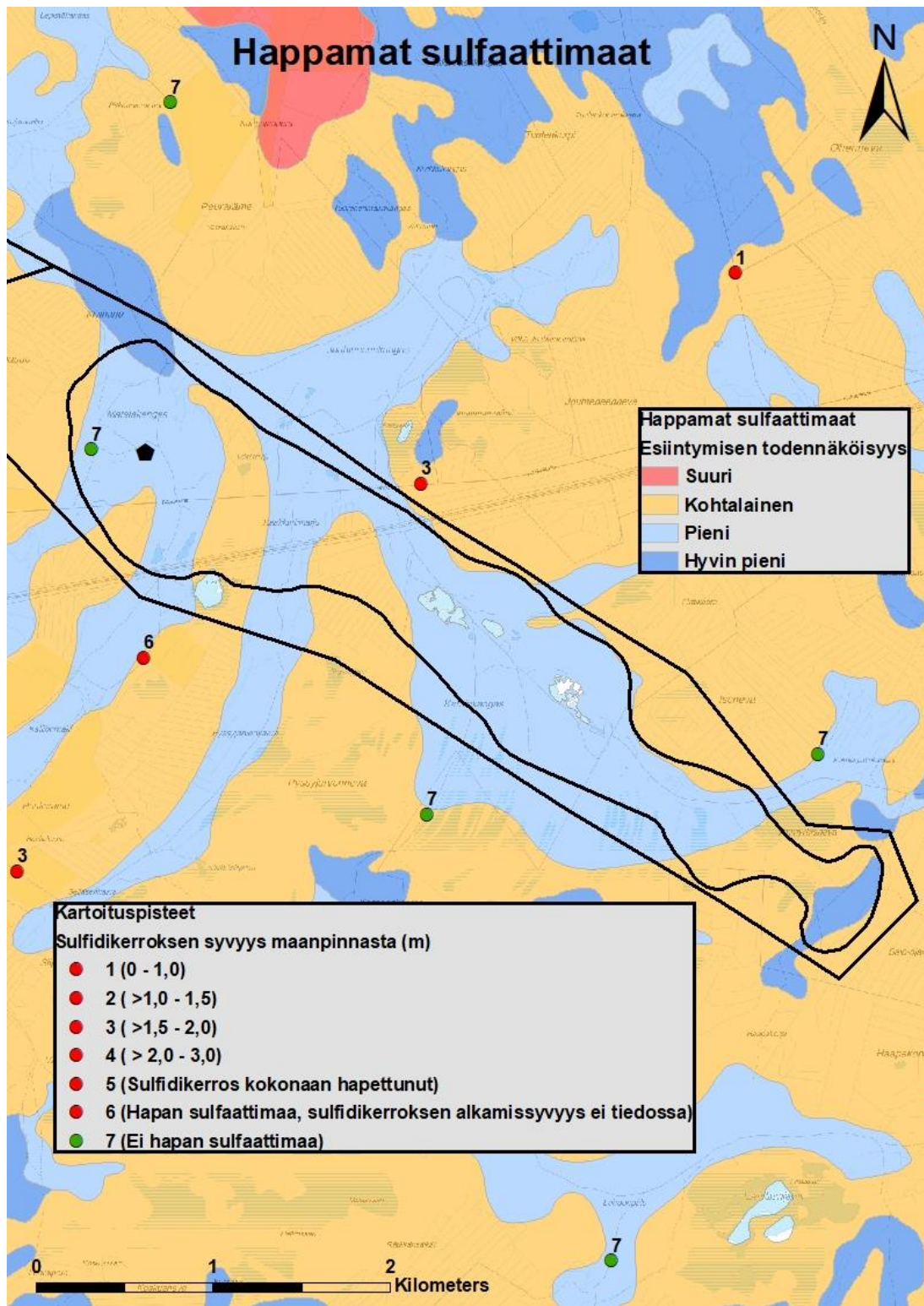
Kuva 13. Riipan käytöstä poistettu ampumarata-alue, joka sijaitsee aivan Riipan pohjavedenottamon läheisyydessä (Mikko Mäkäraäinen 20.6.2019).

6.5 Happamat sulfaattimaat

Riipan pohjavesimuodostuma sijaitsee entisen Litorinameren alueella, jossa happamat sulfaattimaat ovat yleisiä.

Sulfidisavikerrostumia on syntynyt alueelle hapettomissa olosuhteissa, kun kasvisjäte ja meriveden sulfaatit reagoivat toisiinsa. Tämä synnytti bakteeritoiminnan, joka loi rikkipitoisia sulfidisavikerrostumia. Sulfaattisavikerrostumat muuttuvat hapettuessaan ajan myötä vähitellen happamiksi sulfidimaiksi. Sulfaattimaat voivat hapettua luonnollisesti maan kohoamisen myötä. Ihmistoiminnan vaikutuksesta ne voivat hapettua viljelyn ja ojituksen ansiosta, kun niitä hapettumiselta suojaava maakerros ohenee. Hapetuksen myötä sulfidikerrostumasta muodostuu rikkihappoa, joka pohjaveteen päästyään voi happamoittaa pohjavettä (Uusi-Kämpä ym. 2013, s. 3).

Riipan pohjavesimuodostuman alueella on tehty yksi kairaushavainto vedenottamon itäpuolella jo käytöstä poistuneen ampumarata-alueen alueelta. Kairauksessa ei paljastunut, että alueella olisi happamia sulfidimaita. Kairauksia on suoritettu pohjavesialueen lähistöllä useammasta kohtaa. Pohjavesialueen vieressä länsipuolella maantien vieressä on tehty kairaus, jossa oli sulfaattipitoista maaperää 1,5 – 2,0 metrin syvyydessä. Toinen sulfaattihavainto pohjavesialueen lähistöltä on tehty sen itäpuolelta, josta on löydetty hapanta sulfaattimaata, mutta sen alkamissyvyyttä ei ole tiedossa. Happamien sulfaattimaiden esiintymismahdollisuus yleisesti pohjavesialueella on pieni. Paikoitellen alueen luoteis- ja kaakkoisosissa mahdollisuus esiintymiselle on kohtalainen (Kuva 14).



Kuva 14. Riipän happamien sulfaattimaiden mahdolliset esiintymisalueet ja kartoituspisteet. Pohjavesialueen raja merkitty mustalla viivalla ja pohjavedenottamon sijainti mustalla viisikulmiolla (Peruskartta © Maanmittauslaitos, Happamien sulfaattimaiden sijaintikartta © GTK).

7 TULOKSET

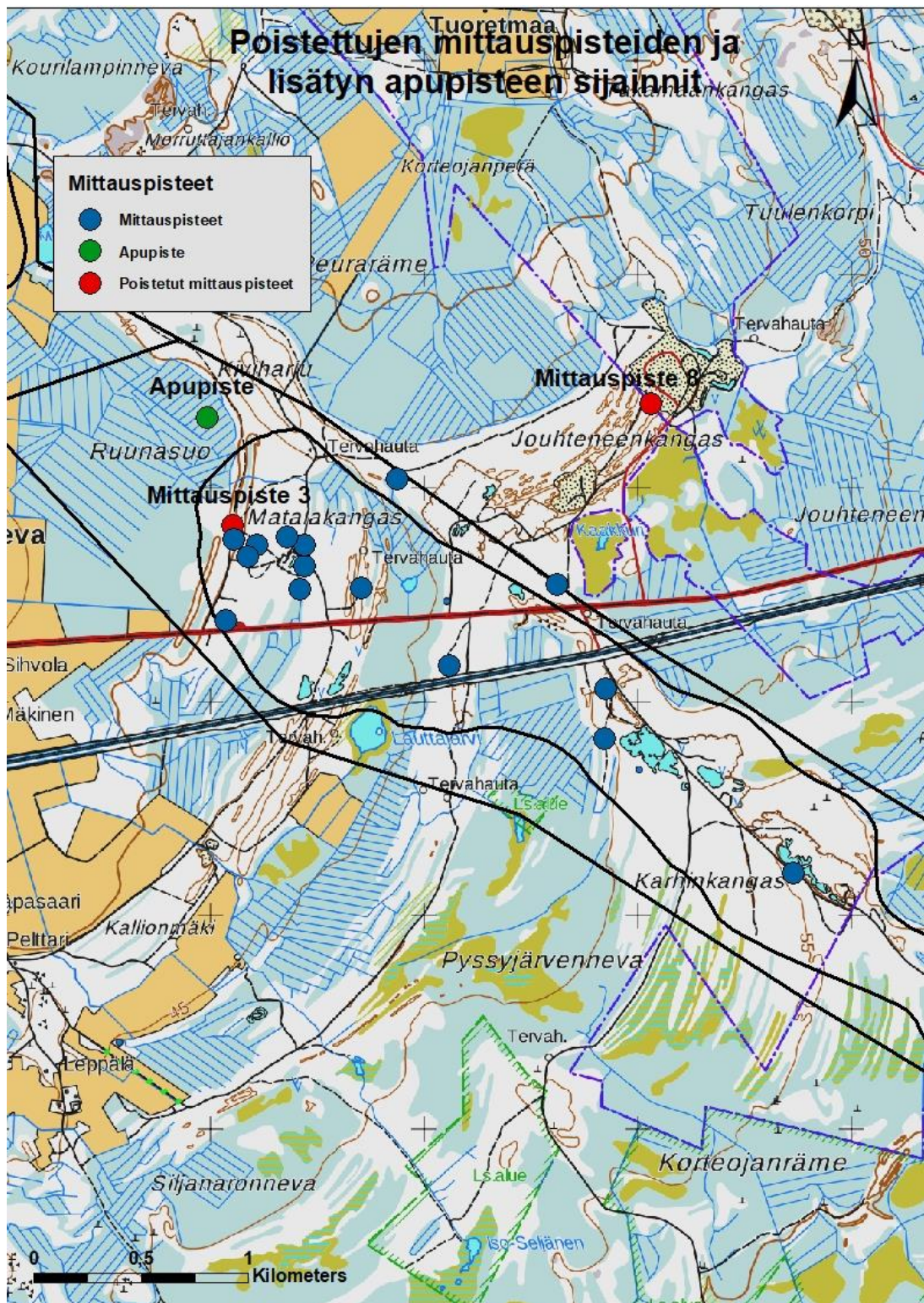
7.1 Pohjaveden pinnankorkeudet ja virtaussuunnat

Riipan pohjaveden virtaussuunta arvioitiin TopoToRaster- ja Kriging-menetelmillä. Työssäni käytettiin myös Riipan pohjavesialueen 1,5 km luoteispuolella olevan Pesäkankaan pohjavesialueen pohjaveden pinnankorkeustietoja. Tämä tehtiin siksi, että saatiin tarkempi arvio, mihin suuntaan pohjaveden virtaus jatkuu Riipan vedenottamon jälkeen. Interpolointi ja virtaussuunnat eivät käsitä koko Riipan pohjavesialuetta, koska havaintopisteitä ja pinnankorkeustietoja ei ollut saatavissa koko pohjavesialueelta. Tämän vuoksi interpolointi ja virtaussuuntien määritykset eivät yllä aivan pohjavesialueen kaakkoiskulmaan.

Pohjaveden pinnankorkeuden mittauspisteitä oli Riipan pohjavesialueella 17 kappaletta. Pesäkankaan havaintopisteitä oli yhteensä kahdeksan. Riipan pohjaveden pinnankorkeuden mittauspisteet kolme ja kahdeksan jouduttiin poistamaan interpoloinnista ja virtaussuuntamäärityksistä (Kuva 15). Mittauspiste kahdeksan sijaitsi kaukana pohjavesialueesta, ja piste sekoitti interpoloinnin sekä pohjaveden virtaussuuntien tuloksia. Mittauspiste 3 oli mittauspisteen 19 vieressä. Pisteen 3 pohjaveden keskimääräisessä pinnankorkeudessa oli suuria eroavaisuuksia muiden lähellä olevien pohjaveden mittauspisteiden pinnankorkeuksien kanssa. Piste 3 tuotti virhearvoja lopulliseen interpolointiin ja pohjaveden virtaussuunnan arviointiin, joten sitä ei käytetty arvioinnissa.

Kriging-menetelmässä jouduttiin lisäämään yksi ns. ”apupiste”. Riipan ja Pesäkankaan pohjavesialueiden välissä on Ruunansuon suoalue, joka vääristi ilman ”apupistettä” Kriging-interpoloinnin tuloksia ja virtaussuuntia. Apupisteen pinnankorkeus määrittelee suon pinnankorkeutta, jossa pohjaveden pinnankorkeus todennäköisesti on. Apupisteen avulla saatiin poistettua poikkeamat interpoloinnista ja pohjaveden virtaussuunnasta (Kuva 15).

Riipan pohjavesialueen pohjaveden virtaussuuntanuolet määritettiin molempiin interpolaatioihin ArcHydro-sovelluksen avulla.

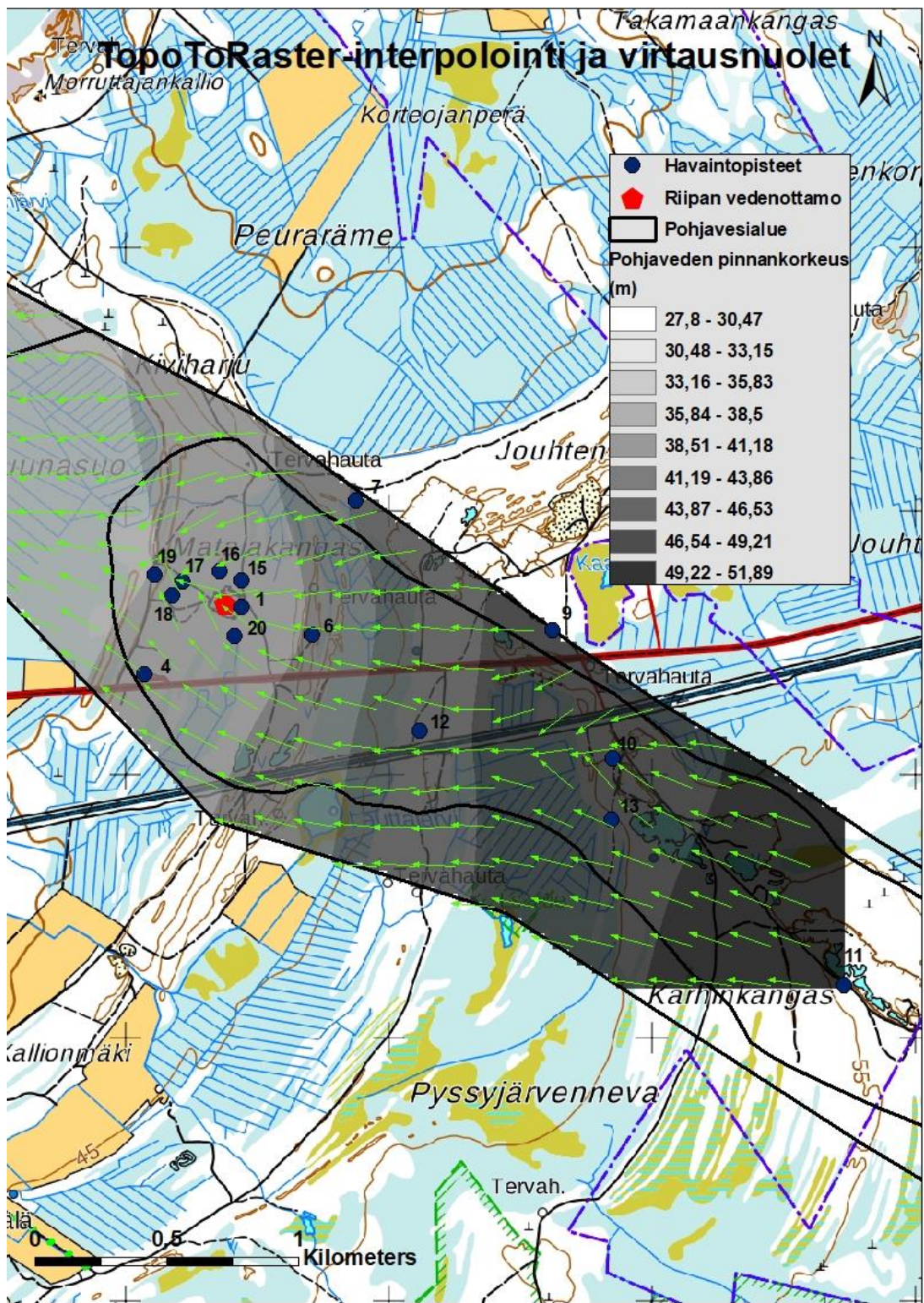


Kuva 15. Poistetut mittauspisteet 3 ja 8 merkitty punaisella ympyrällä. Lisätty apupiste merkitty vihreällä ympyrällä. Käytetyt mittauspisteet merkitty sinisellä ympyrällä (Peruskartta © Maanmittauslaitos).

7.1.1 TopoToRaster-interpolointi

TopoToRaster-interpoloinnin mukaan pohjaveden pinnankorkeus on korkein Riipan pohjavesialueen kaakkoisosassa ja pinnankorkeus laskee luodetta kohti. Havaintopiste 11 kohdalla pohjaveden pinnankorkeus on 49,22 – 51,89 metriä ja Riipan vedenottamolla se on 35,84 – 38.5 metriä.

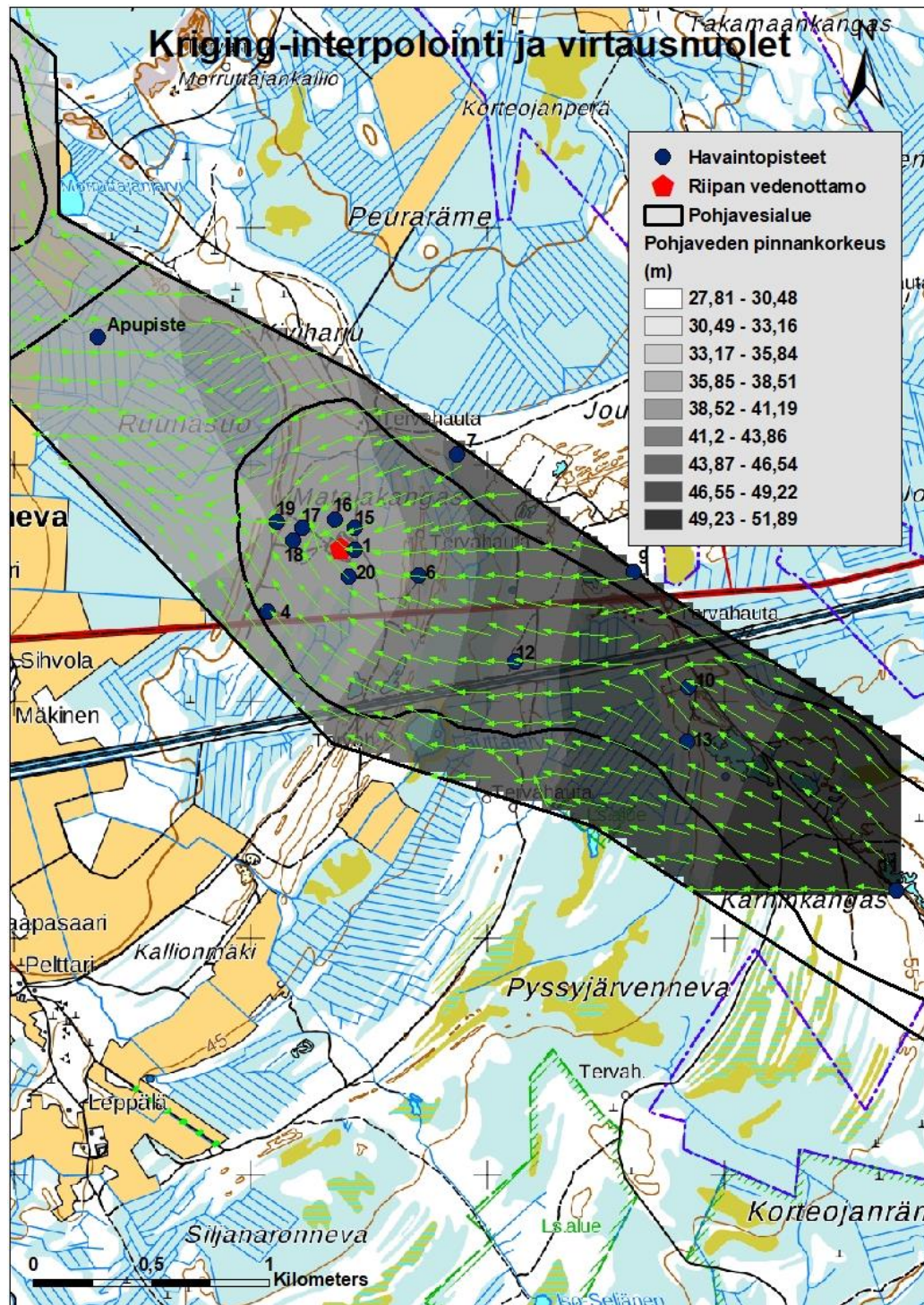
Virtausnuolien perusteella pohjavesi virtaa kaakosta luoteeseen kohti Riipan vedenottamoa. Pohjavettä virtaa myös pohjavesialueelle idästä Jouhtenkaankalta vedenottamolle (Kuva 16).



Kuva 16. Riipan pohjavesialueen virtaussuunta, pohjaveden pinnankorkeudet TopoToRaster-interpoloinnin pohjalta sekä pohjaveden pinnankorkeuden havaintopisteet (Peruskartta © Maanmittauslaitos).

7.1.2 Kriging-interpolointi

Kriging-interpoloinnissa pohjaveden pinnankorkeus on hyvin samanlainen kuin TopoToRaster-interpolaatiossa. Pohjavesi virtaa kaakosta luoteeseen ja Jouhteenkaan suunnalta idästä (Kuva 17).



Kuva 17. Riipan pohjaveden pinnankorkeudet Kriging-interpoloinnilla. Kuvassa myös esitetty Kriging-interpoloinnin pohjalta tehty pohjaveden virtausnuolet sekä pohjaveden pinnankorkeuden havaintopisteet (Peruskartta © Maanmittauslaitos).

7.2 Sieppausalueet

Riipan vedenottamolle tehtiin yhteensä kolme UFE-sieppausaluetta TopoToRaster-interpoloinnin pohjaveden virtaussuuntien pohjalta. Kriging- ja TopoToRaster-interpolointien pohjaveden virtaussuunnissa ei ollut juuri eroavaisuuksia, joten sieppausalueet päädyttiin tekemään TopoToRaster-interpoloinnin pohjalta. CFF-vyöhykkeet laskettiin Riipan vedenottamon ympärille.

7.2.1 UFE-sieppausalue

Ensimmäiset kaksi UFE-sieppausaluetta on muodostettu kaivolle saapuvan pohjaveden virtausten suuntaisesti. Pohjavettä virtaa vedenottamoon luoteis- ja itäsuunnasta ja sieppausalueet on asetettu virtausten mukaisesti (Kuvat 18 ja 19). Yhtenäinen sieppausalue on muodostettu näiden kahden sieppausalueiden ulkoisten rajojen pohjalta.

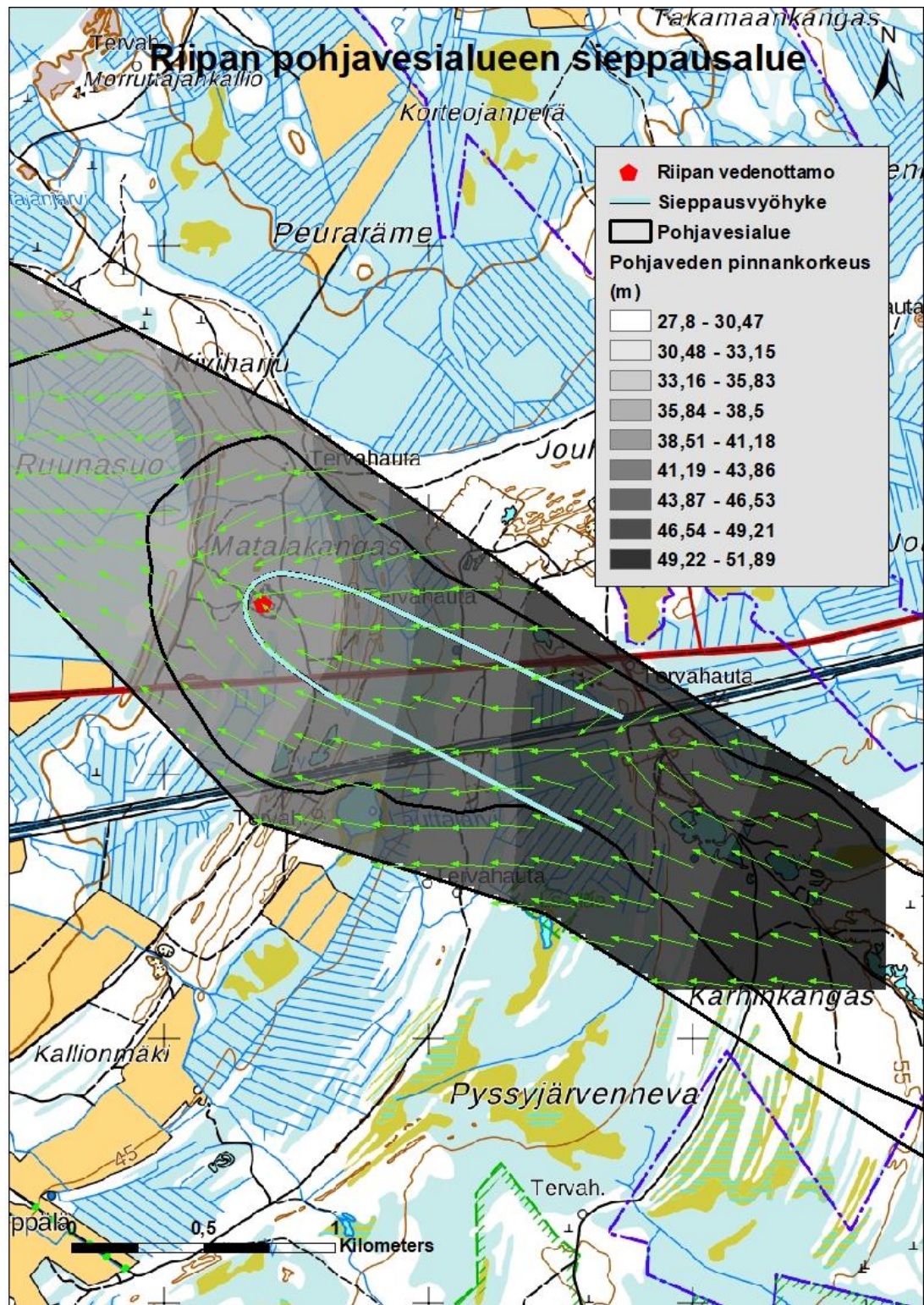
Sieppausalueiden raja-arvot ja Xstag-piste määritettiin UFE-sieppausalueen vapaan akviferin laskukaavalla (2, 3 ja 4). Riipan pohjavesialueen luoteisosasta maatutkalinjauksessa maaperä koostui hiekasta ja karkeasta hiekasta (Valpola & Valjus 2017, s. 20). Sieppausalueiden laskennassa käytettiin hydraulisen johtavuuden arvona 10 m/vrk. Hiekan ja karkean hiekan hydraulisen johtavuuden arvo vaihtelee 1 - 10 m/vrk välillä. Hydraulisen johtavuuden nostamisella sieppausalueen muoto muuttuu kapeammaksi, sillä hydraulisen johtavuuden kasvaminen laskennassa kasvattaa pohjaveden virtausnopeutta ja virtaus kaivoon tapahtuu pienemmältä alueelta. Hydraulisen johtavuuden laskeessa laskee myös pohjaveden virtausnopeus. Tällöin pohjaveden virtaus kaivoon tapahtuu laajemmalla alueelta ja samalla sieppausalueen leveys kasvaa.

UFE-sieppausalueiden parametrit laskettiin Microsoft-Excelissä UFE-sieppausalueen vapaan akviferin kaavan mukaisesti. Vapaan akviferin kaavalla määritettiin sieppausalueiden raja-arvot sekä sieppausalueen stagnaatiopiste (X_{STAG} -piste) (4). Raja-arvoja ovat maksimipituusarvo (X_{DIV}) (3) sekä maksimileveysarvo (Y_{MAX}) (2). Molemmille pohjaveden sieppausalueelle laskettiin omat arvonsa, jolloin saatiin kaksi paraabelin muotoista sieppausaluetta. Sieppausalueet kapenevat lähestyttäessä kaivoa ja ne loppuvat X_{STAG} -pisteen kohdalla.

UFE-sieppausalueen sijoittaminen ArcMap:iin tapahtui sijoittamalla sieppausalueen pituus- ja leveysarvot manuaalisesti. Sieppausalueen nollakohta leveys- ja pituussuunnassa tarkoittaa kaivoa. Sieppausalueen nollakohta sijoitettiin Riipan kaivon kohdalle ja sieppausalue asetettiin kohtisuoraan pohjaveden virtaussuuntaa vastaan.

Sieppausalueen sijoittamisen jälkeen ArcMap:in kartalle voitiin havainnoida, mikä osa Riipan vedenottamolle virtaavasta pohjavedestä virtaa sieppausalueen sisälle ja siitä kaivoon. Sieppausalueen ulkopuolelle jäävä vesi ei kulkeudu tällöin kaivoon asti, vaan se virtaa sen ohitse.

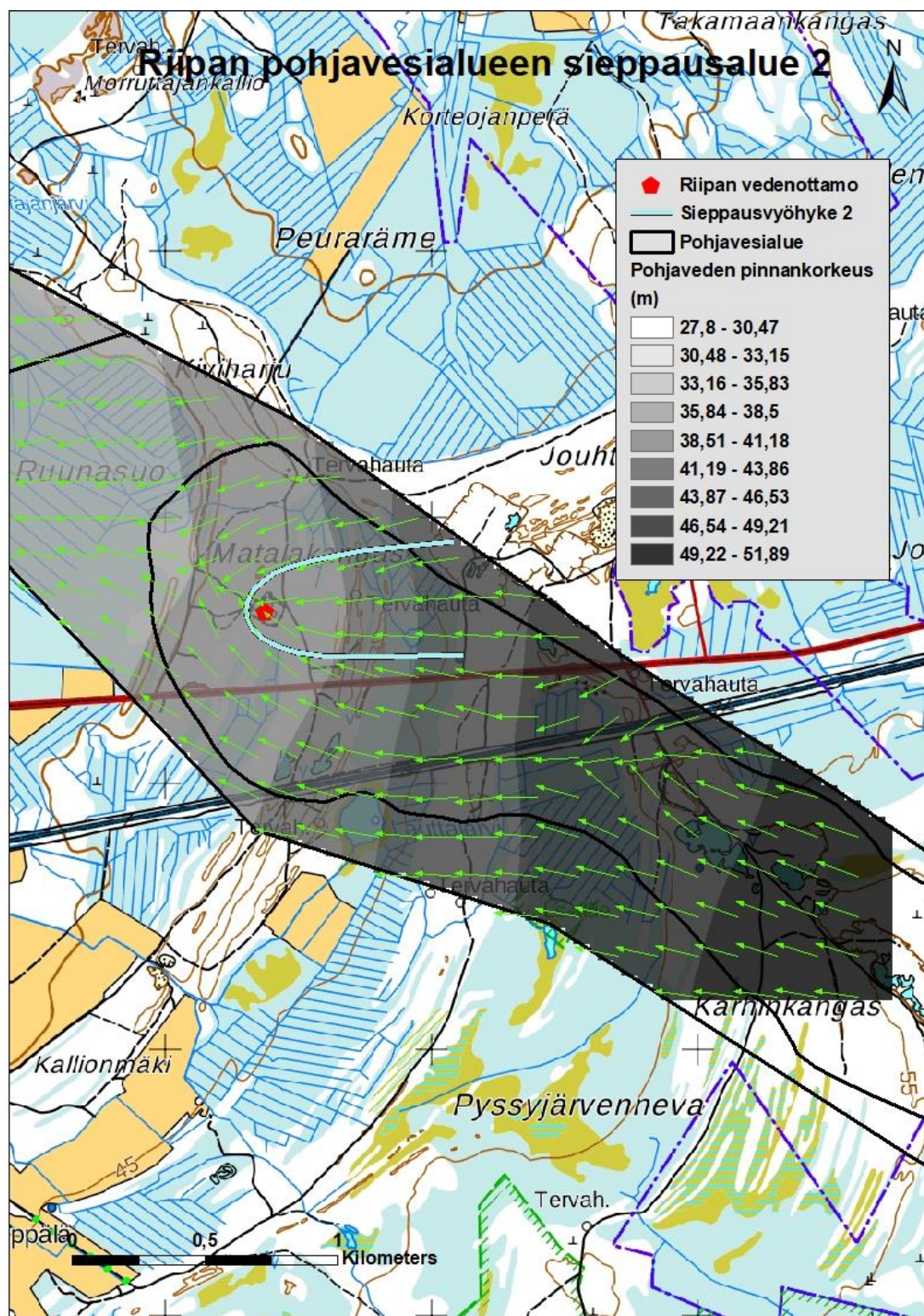
Sieppausalueen määrittämisessä tein Riipan pohjavesialueelle kaksi sieppausaluetta. Tämä johtui siitä, että virtaussuuntien määrittämisen jälkeen pohjavesi virtaa kaivoon sekä kaakosta että idästä. Ensimmäinen määritetty sieppausalue on suunnattu kaakosta tulevan pohjaveden virtaussuuntaan (Kuva 18). Sieppausalueiden nollakohdat on asemoitu Riipan vedenottamon päälle. Ensimmäisen sieppausalueen pituus (X_{DIV}) on 2560 metriä ja se on leveimmillään (Y_{MAX}) sieppausalueen alussa 230 metriä. X_{STAG} -piste on 75,36 metriä Riipan kaivosta koilliseen.



Kuva 18. Vaalean sinisellä värillä merkitty ensimmäinen UFE-sieppausalue, joka on asemoitu pohjaveden virtaussuuntausta mukaan luoteiskaakko -suuntaan (Peruskartta © Maanmittauslaitos).

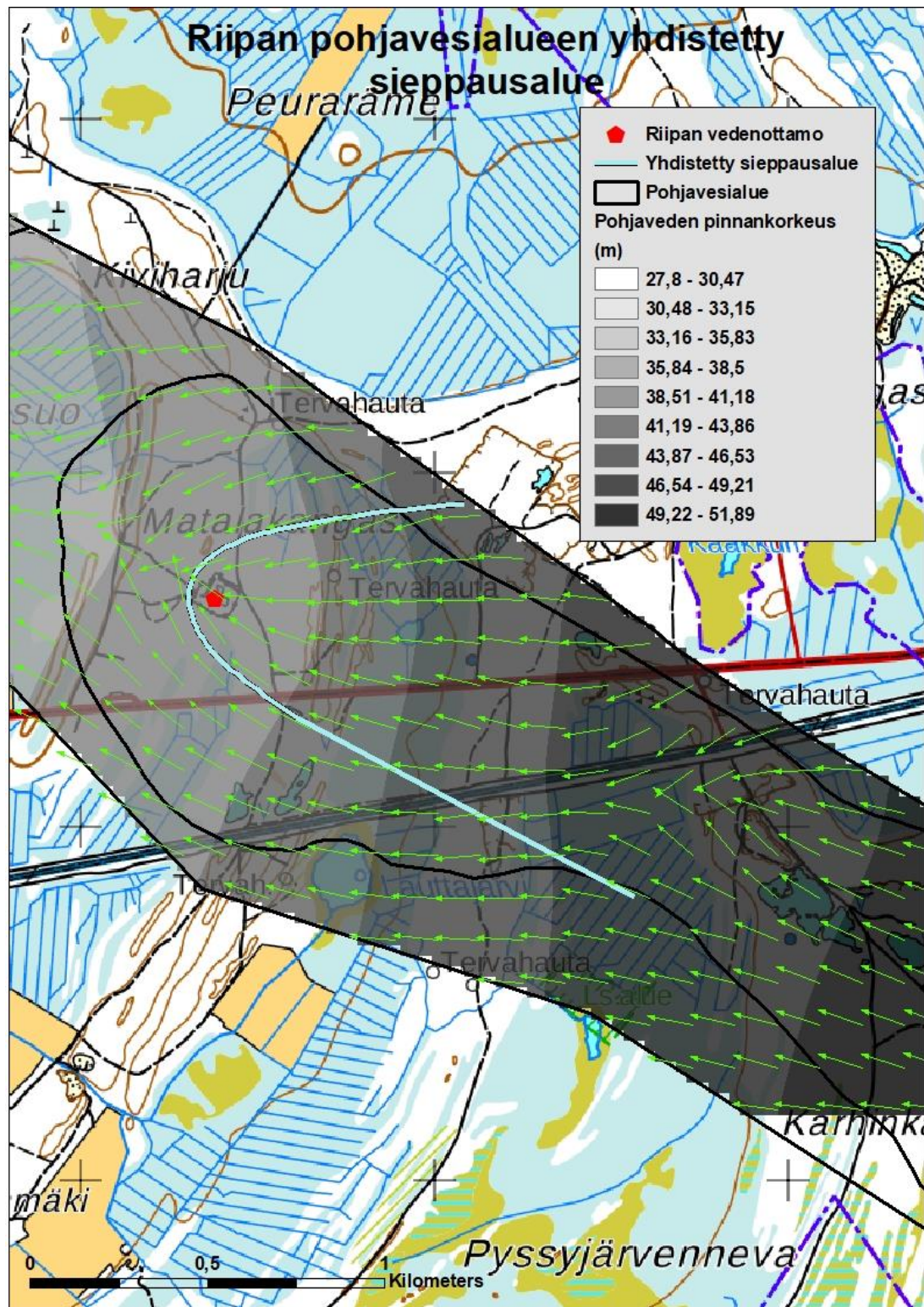
Toiseen sieppausalueeseen pohjavesi virtaa idästä Jouhteenkankaan suunnalta (Kuva 19). Tämän takia sieppausalueen nollakohta on asemoitu Riipan vedenottamolta idän suuntaan pohjaveden virtaussuunnan mukaan.

Sieppausalueen pituus (X_{DIV}) on 779 metriä ja leveys (Y_{MAX}) sieppausalueen alussa 200 metriä. X_{STAG} -piste on Riipan vedenottamon länsipuolella 69,19 metriä vedenottamosta.



Kuva 19. Toinen UFE-sieppausalue vaalean sinisellä merkitty. Sieppausalue on asemoitu Jouhteenkankaan suuntaan, josta myös virtaa pohjavettä Riipan pohjavesialueelle (Peruskartta © Maanmittauslaitos).

Yhdistetty sieppausalue on kahdesta aiemmasta esitetystä sieppausalueesta määritetty sieppausalue (Kuva 20). Yhdistetyn sieppausalueen rajat on piirretty kaakkoon ja itään suunnattujen sieppausalueiden ulkoreunojen mukaan. Yhdistetyn sieppausalueen avulla voidaan havainnoida kartasta alue, josta pohjavesi virtaa Riipan vedenottamoon. Sieppausalueen ulkopuolelle jäävä pohjaveden virtausnuolien mukainen virtaus ei tule täten vedenottamolle, vaan virtaus jatkuu kohti luodetta Pesäkankaan pohjavesialuetta kohti.



Kuvassa 20. Riipan yhdistetty UFE-sieppausalue ja pohjaveden virtausnuolet. Yhdistetty sieppausalue on muodostettu kahden sieppausalueen pohjalta (Peruskartta © Maanmittauslaitos).

7.2.2 CFR-vyöhykkeet

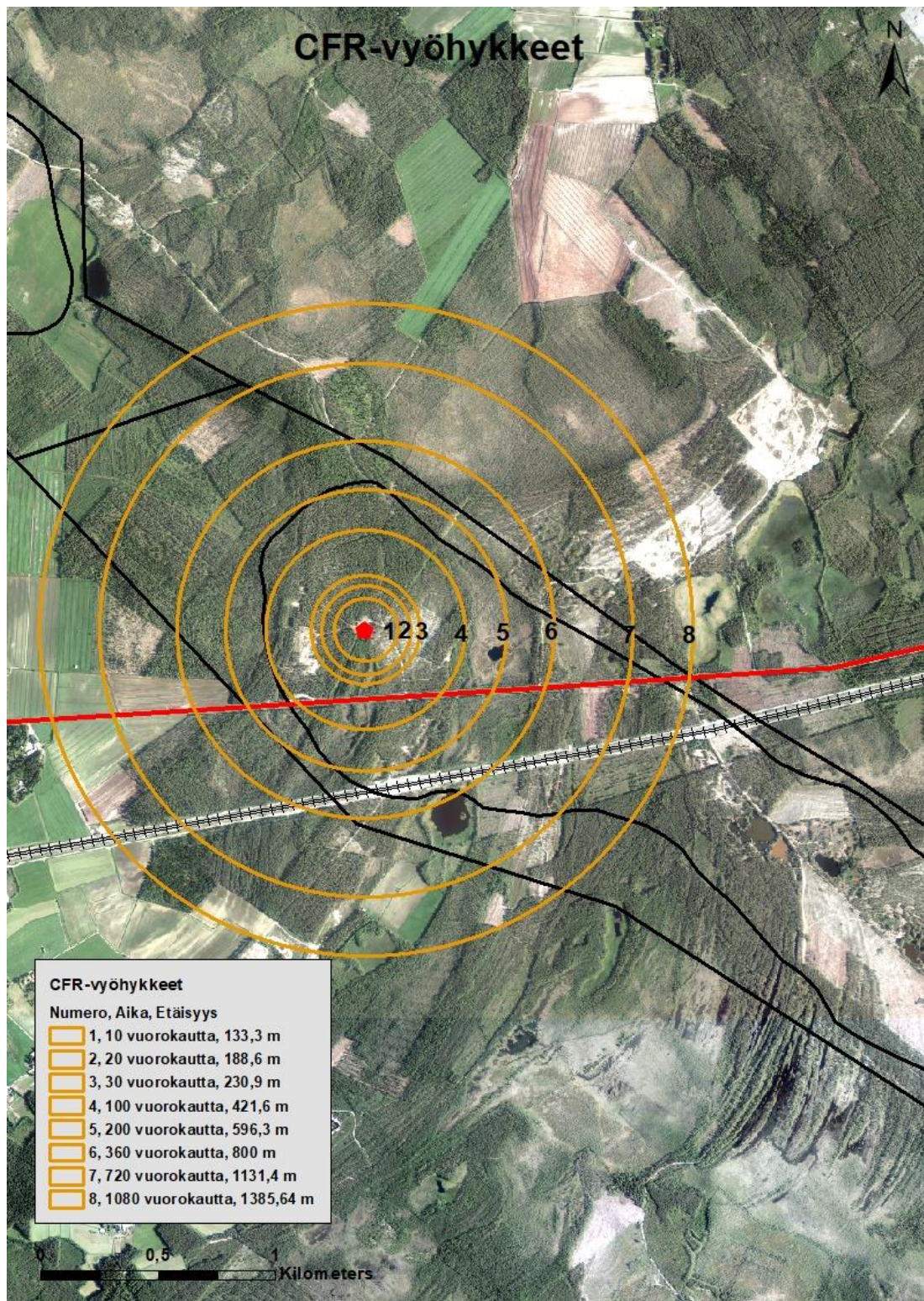
Riipan pohjavesimuodostumalle muodostettiin CFR-vyöhykkeet (1) CFR-menetelmän laskukaavan pohjalta. Kaavan arvot laskettiin Microsoft-Excelissä, minkä jälkeen CFR-vyöhykkeet asemoitiin kartalle ArcMap:ssa Riipan vedenottamon ympärille. CFR-vyöhykkeitä laskettiin Riipan vedenottamon ympärille kahdeksan kappaletta.

CFR-vyöhykkeet kertovat, kuinka kauan pohjavedeltä vie aikaa kulkeutua Riipan vedenottamolle vyöhykkeiden reunoilta. CFR-vyöhykkeen keskikohta on Riipan vedenottamo, johon CFR-menetelmä laskee veden tulevan.

Ensimmäinen vyöhyke muodostettiin 10 vrk:n päähän vedenottamolta, jolloin vyöhyke on 133,3 metrin päässä vedenottamosta. Kauimmainen vyöhyke on 1080 vuorokauden eli kolmen vuoden päähän vedenottamosta, jolloin vyöhykkeen reuna on 1385,4 metrin päässä vedenottamosta (Kuva 21).

Riipan vedenottamolla pumpataan pohjavettä noin 1000 m³/vrk. CFR-vyöhykkeiden määrittämisessä käytettiin em. pumppausmäärää. Pumppausmäärän nostaminen ja laskeminen vaikuttaa vyöhykkeiden etäisyyksien kasvuun ja lähenemiseen kaivosta. Menetelmä vaatii myös maaperän huokoisuustietoja. Työssäni käytin huokoisuutena 0,3 arvoa, mikä vastaa hiekan huokoisuutta. (Airaksinen 1978, s. 72)

CFR-menetelmä ei huomioi pohjaveden todellista virtaussuuntaa, vaan se olettaa vedenottamoon virtaavan pohjavettä joka puolelta (Ohio Environmental Protection Agency 1994, s. 38 - 39). Kun tiedetään Riipan pohjaveden virtaussuunta, voidaan CFR-vyöhykkeillä päätellä aika, joka pohjavedeltä vie tulla vedenottamoon pohjavesialueella. CFR-vyöhykkeiden tuloksista on kerrottu tarkemmin kohdassa 8.2.1.



Kuva 21. Riipan vedenottamon ympärille muodostetut CFR-vyöhykkeet. Jokainen vyöhyke kertoo etäisyyden vedenottamoon sekä pohjaveden kulkuajan vyöhykkeen reunalta vedenottamolle (Ilmakuva © Maanmittauslaitos).

7.3 Kulkeutumisajat

Riipan pohjaveden kulkeutumisaika vedenottamolle määritettiin CFR-menetelmällä ja Darcyn-lailla. CFR-menetelmässä pohjaveden kulkuaika perustuu Riipan pohjavedenottamon pumppausmääriin. Menetelmässä ei tarvittu interpoloinnissa muodostettuja pohjaveden pinnankorkeustietoja. Menetelmässä laskettiin 10 – 1080 vrk:n etäisyysvyöhykkeet vedenottamosta.

Työssä Riipan pohjavesialueelle on laskettu Darcyn-lakia soveltaen kulkeutumisaika Riipan vedenottamolle pohjaveden laatua uhkaavilta riskialueilta. Virtausnopeuden määrittämiseen kaivon ja riskialueiden pohjaveden pinnankorkeudet on saatu TopoToRaster-interpolaation pohjaveden pinnankorkeustiedoista.

Darcyn-laissa ei tarvita pumppausmäärä tietoja, vaan se kuvaa enemmän pohjaveden virtausta. Huokoisuutena on käytetty samaa arvoa 0,3 kuin CFR-menetelmässä. Pohjaveden hydraulinen johtavuutena on käytetty arvoja 10 m/vrk ja 100 m/vrk. Hiekan hydraulinen johtavuus on luokkaa 10 m/vrk ja soran luokkaa 100 m/vrk. Hydraulisen johtavuuden kasvaminen nostattaa pohjaveden virtausnopeutta (Korkka-Niemi & Salonen 1999, s. 43).

Työssä pohjaveden laskettuna virtausnopeutena on käytetty keskiarvollista virtausnopeutta. Keskiarvollinen virtausnopeus on laskettu pohjavettä uhkaavien riskialueiden 1 – 6 ja Riipan vedenottamon välisistä virtausnopeuksista. Virtausnopeuksien keskiarvoksi saatiin 0,257 m/vrk, jolla on laskettu pohjaveden kulkeutumisaika kaikilta riskialueilta vedenottamolle. Pohjaveden kulkeutumisaika vaihtelee riskialueilta 10 m/vrk hydraulisella johtavuudella 6 vuoden ja 17 vuoden välillä. 100 m/vrk hydraulisella johtavuudella pohjaveden kulkeutumisaika riskialueilta vaihtelee 7 – 20 kuukauden välillä. Kulkeutumisnopeuksista on tarkemmin kerrottu kohdassa 8.2.1.

8 TULOSTEN TARKASTELU

Sieppausalueen muodostamisella sekä pohjaveden virtaussuuntien ja nopeuksien selvittämisellä voidaan havainnoida, mitkä tekijät (riskialueet) voivat olla Riipan pohjavesialueella pohjaveden laatua vaarantavia tekijöitä. Työn tavoitteena oli selvittää mahdolliset riskitekijät, pohjaveden virtaussuunnat ja kulkeutumisaika Riipan vedenottamolle.

8.1 Ympäristöuhkien arviointi sieppausalueen perusteella

Pohjavedenottamon sieppausalueen menetelmää voidaan käyttää kartoitettaessa mahdollisia riskialueita, jotka voivat uhata pohjavesialueella pohjaveden laatua. Työssäni muodostettiin Riipan pohjavesialueelle kahdella menetelmällä sieppausalueet. Pohjaveden virtaussuuntien avulla voitiin asemoida UFE-sieppausalueet. UFE-menetelmällä sieppausalueita muodostettiin kaksi, joiden pohjalta tehtiin lopullinen yhtenäinen UFE-sieppausalue, joka kuvaa, miltä osalta Riipan pohjavesialueesta tulee pohjavettä Riipan vedenottamoon. CRF-vyöhykkeitä muodostettiin Riipan vedenottamon ympärille kahdeksan kappaletta.

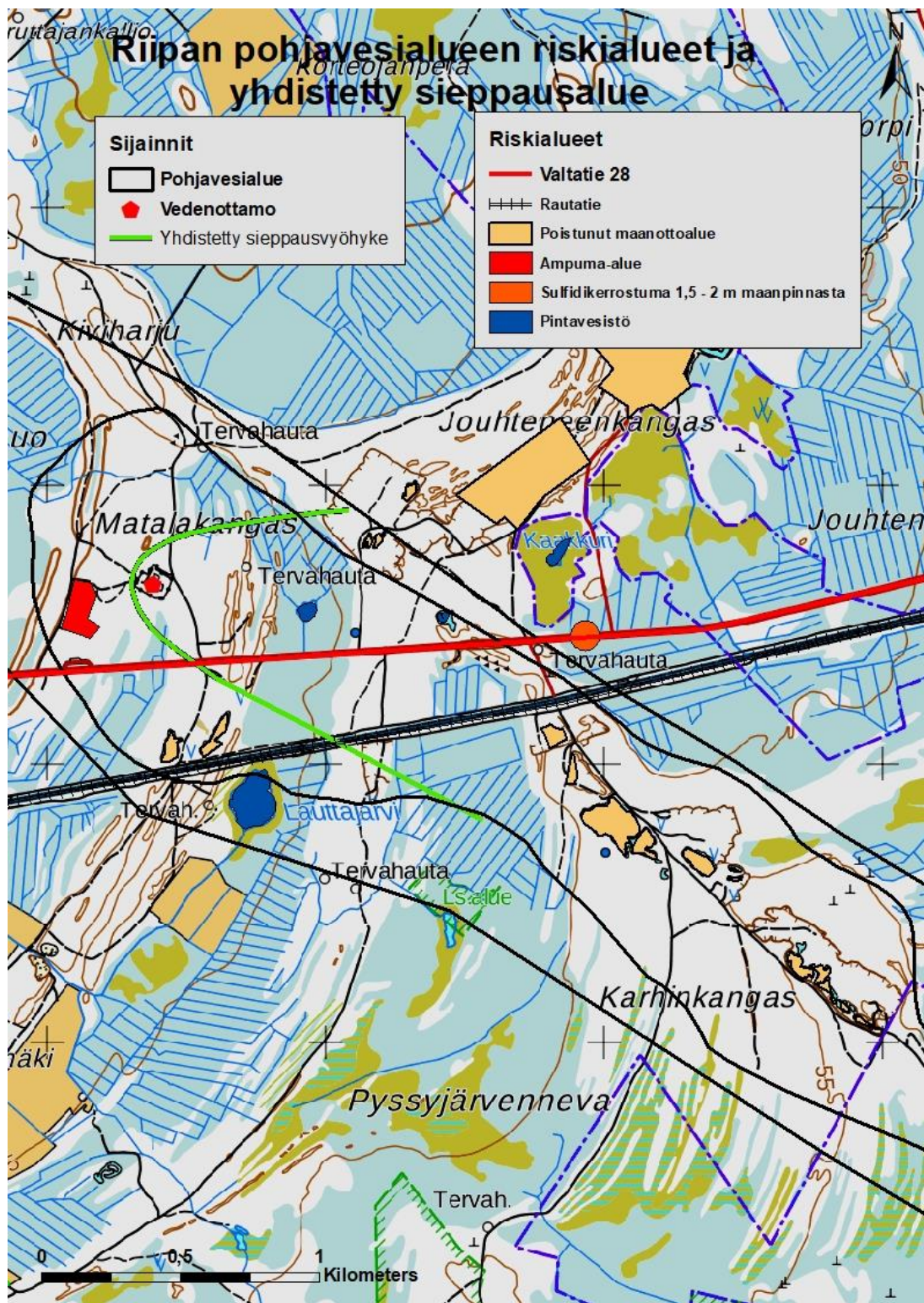
8.1.1 UFE-menetelmän yhdistetty sieppausalue

UFE-menetelmän yhdistetyn sieppausalueen alueen sisälle jäävä pohjavesi tulee Riipan vedenottamoon. Tarkastelemalla pohjaveden laatua uhkaavia riskikohteita yhdistetyn sieppausalueen sisällä, voidaan päätellä, mitkä riskitekijät ovat uhkana Riipan pohjavedelle. Yhdistetyn sieppausalueen ulkopuolelle jäävä pohjavesi ei tule Riipan vedenottamoon (Kuva 24).

Yhdistetty sieppausalue ulottuu pohjavesialueen luoteisosassa oleville käytöstä poistuneille maanottoalueille ja sen välissä oleville valtatie 28:lle sekä rautatielle. Yhdistetyn sieppausalueen mukaan nämä olisivat suurimmat riskitekijät pohjaveden laadulle ja pilaantumiselle. Yhdistetty sieppausalue ei silti kokonaan kata valtatie 28:aa ja rautatietä Riipan pohjavesialueella. Tämä tarkoittaisi sitä, että jos esimerkiksi

onnettomuudessa tai tiesuolauksessa pääsisi pohjavedelle ja ympäristölle haitallisia haitta-aineita pohjaveteen, haitta-aineet tulisivat pohjaveden virtauksen mukana ainoastaan yhdistetyn sieppausalueen sisältä vedenottamolle. Sieppausalueen ulkopuolelle jääviltä valtatie 28 ja rautateiltä haitta-aineet eivät tulisi vedenottamolle, vaan ne kulkeutuisivat ohi Riipan vedenottamosta ja jatkaisivat kohti luodetta.

Pohjaveden virtaussuuntien ja yhdistetyn sieppausalueen perusteella Riipan pohjavedenottamon vieressä olevalta käytöstä poistuneelta ampumarata-alueelta ei tule pohjavettä vedenottamolle. Ampumarata-alueelta vuonna 2015 otetuissa pohjavesinäytteissä näkyi lyijy-, rauta- ja mangaanipitoisuuksien kasvua. Pitoisuudet ylittivät talousveden laatuvaatimukset. Pohjaveden virtaussuunnan ja yhdistetyn sieppausalueen mukaan kohonneet pitoisuudet eivät vaikuta pohjavedenottamolta pumpattavan veden laatuun.



Kuva 24. Riipan pohjavesialueelle määritetty yhdistetty sieppausalue ja Riipan pohjaveden laatua uhkaavat riskialueet. Yhdistetty sieppausalue merkitty vihreänä viivana (Peruskartta © Maanmittauslaitos).

8.1.2 CFR-menetelmän sieppausalue

Riipan vedenottamolle muodostetut kahdeksan CFR-menetelmän sieppausaluevyöhykettä kuvaavat pohjaveden sijaintia tietyllä ajanhetkellä. Vyöhykkeiden avulla voidaan tällöin havainnoida pohjaveden etäisyyttä vedenottamolta tietyllä ajanhetkellä, mutta CFR-menetelmällä ei voida laskea pohjaveden virtausnopeutta vedenottamolle. Riipan CFR-vyöhykkeet eivät myöskään kuvaa pohjaveden virtaussuuntaa vedenottamolle, vaan menetelmä olettaa pohjaveden virtaavaan Riipan vedenottamoon joka puolelta. Yhdistämällä CFR-vyöhykkeet ja UFE-menetelmän yhdistetyn sieppausalueen rajat voidaan hahmotella pohjaveden kulkeutumisaikoja pohjaveden virtauksen mukaisesti (kohta 8.2.1).

8.2 Riipan pohjaveden kulkeutumisajat riskikohteilta

Opinnäytetyössäni käytin pohjaveden virtausnopeuden laskemiseen Darcyn-lakia. Virtausnopeuden avulla voidaan havainnoida, kuinka kauan pohjavedeltä kestää kulkeutua riskialueelta Riipan vedenottamolle. CFR-menetelmällä voitiin määrittää eri ajallisilla hetkillä vedenottamolle virtaavan pohjaveden etäisyys Riipan vedenottamosta.

8.2.1 CFR- ja UFE-menetelmä

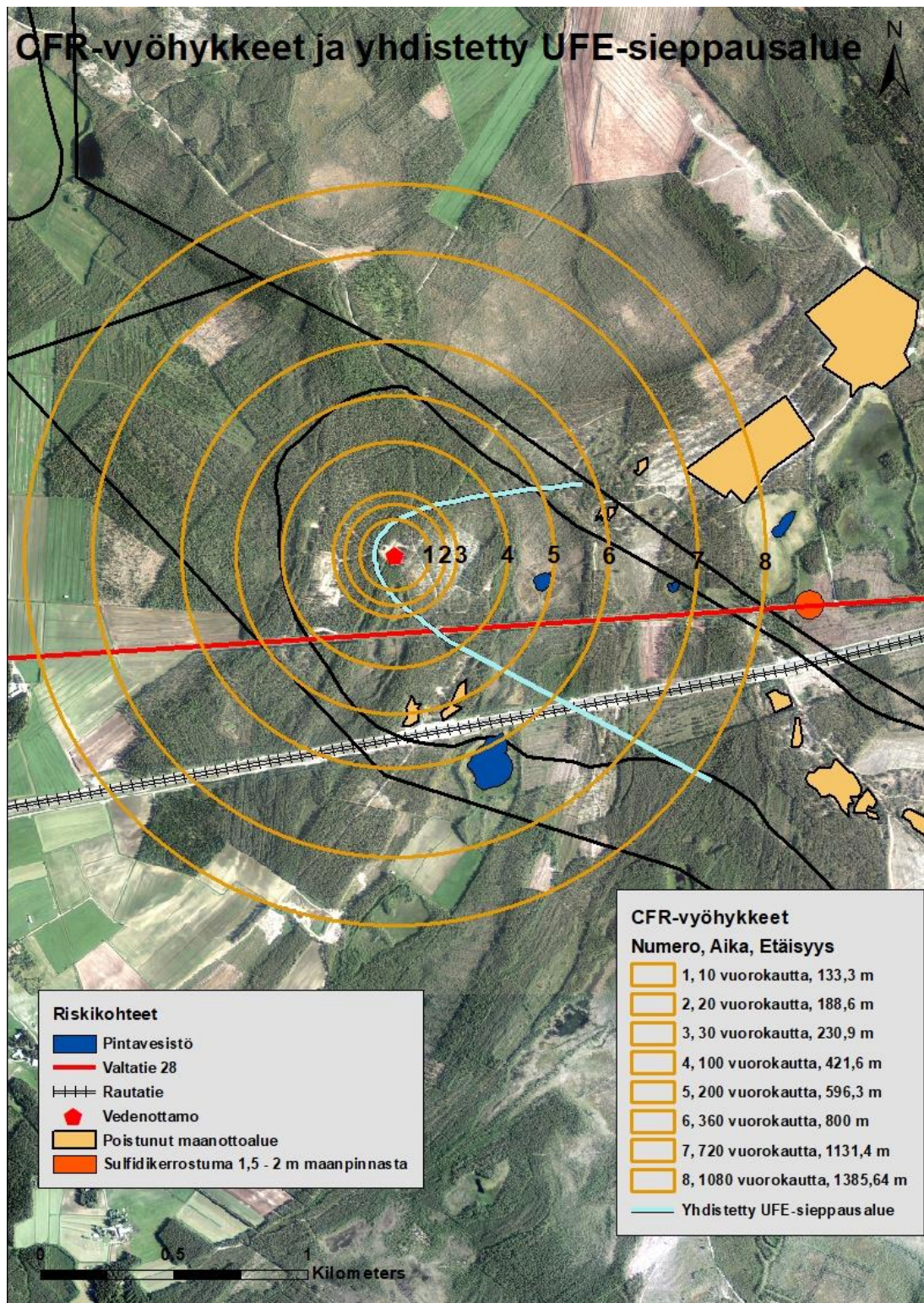
Riipan pohjavedenottamon ympärille muodostettiin kahdeksan CFR-vyöhykettä (Kuva 25). CFR-vyöhykkeitä muodostettiin kymmenestä vuorokaudesta 1080 vuorokauteen (kolmeen vuoteen) ja vyöhykkeiden pituudet vaihtelivat vedenottamolle 133 metristä 1385 metriin. Kuvassa on myös esitetty yhdistetty sieppausalue. Sieppausalueen sisään jäävältä alueelta pohjaveden virtaus tulee vedenottamolle. CFR-vyöhykkeet kertovat vuorokausissa, kuinka kauan pohjavedeltä kestää tulla vedenottamolle vyöhykkeiden sisältä.

Sieppausalueen sisälle jääviä riskialueita ovat valtatie 28 ja rautatie, jotka molemmat ovat aktiivisessa käytössä. Sieppausalueen sisälle jää myös käytöstä poistuneita ja kunnostamatta jääneitä maanottoalueita, joita sijaitsee Riipan pohjavesialueen kaakkoisosassa sekä pohjavesialueen itäisellä puolella Jouhtenkankaalla. Valtatie

28:n vieressä on sulfidimaakerrostuma 1,5 – 2 m syvyydessä. Tältä alueelta tulee myös pohjavettä vedenottamolle.

CFR-vyöhykkeiden mukaan valtatie 28:n alueelta tulevalta pohjavedeltä kestää tulla vedenottamolle n. 100 vuorokautta, rautatieltä noin 360 vuorokautta, kaakossa olevilta entisiltä maanottoalueilta 1080 vuorokautta sekä Jouhteenkaalta idästä entisiltä maanottoalueilta 720 vuorokautta. Sulfidimaakerrostuman alueelta pohjavedeltä kestää tulla 1080 vuorokautta vedenottamolle.

CFR-menetelmän vyöhykkeiden avulla voidaan tarkastella, kuinka kauan mahdollisella haitta-aineella kestäisi tulla vahinkoalueelta vedenottamolle. Tällöin voidaan tehdä arvioidussa ajassa ennalta ehkäisevää työtä riskien minimoimisessa.

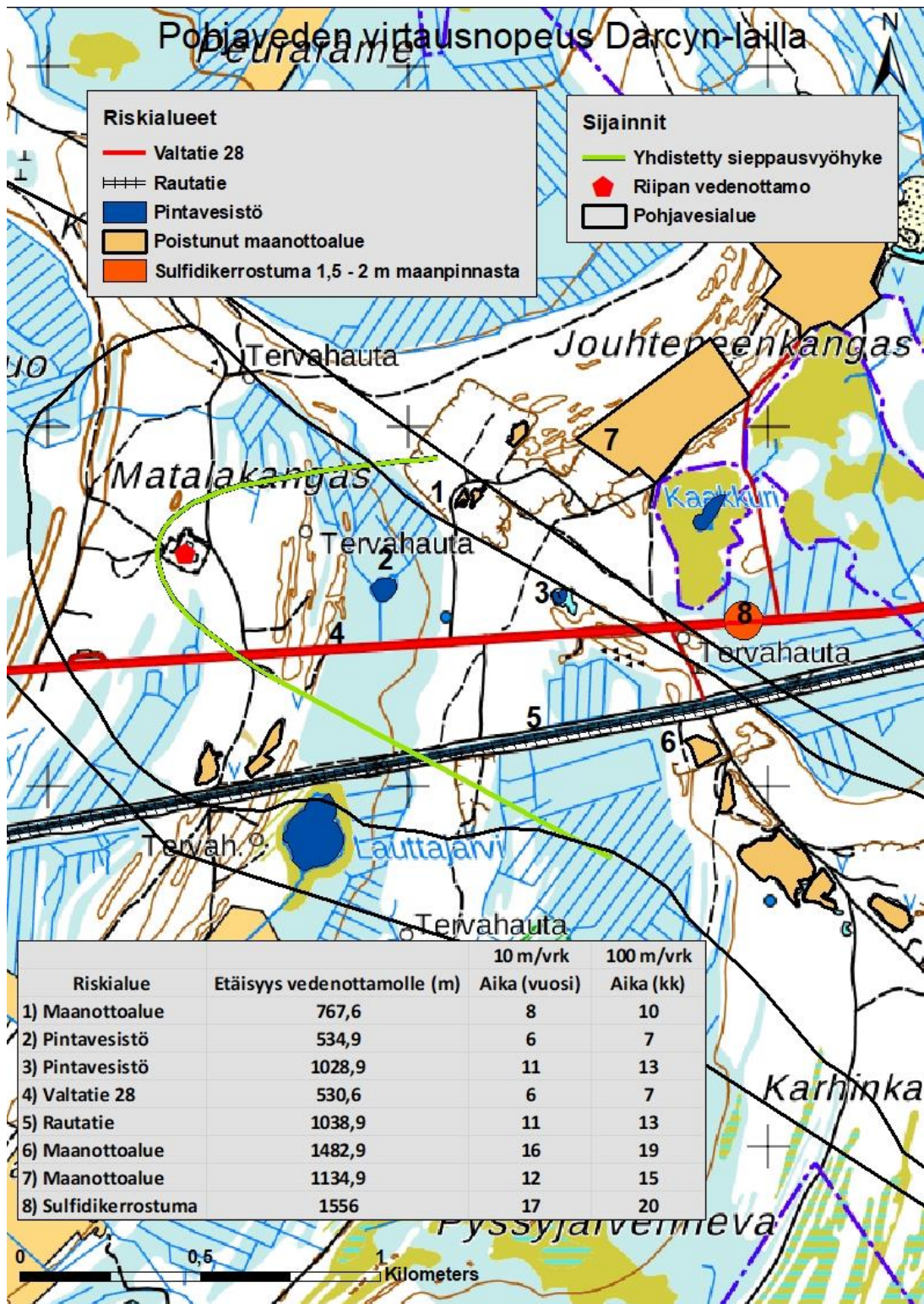


Kuva 25. CFR-vyöhykkeet Riipan vedenottamon ympärillä, yhdistetty sieppausalue sekä pohjaveden riskikohteet. Kuvassa kerrottu CFR-vyöhykkeiden etäisyydet vedenottamolle ja pohjaveden kulkuaika vedenottamolle vuorokausissa (Ilmakuva © Maanmittauslaitos).

8.2.2 Darcyn laki ja UFE-menetelmä

Darcyn-lakia soveltaen laskettiin pohjaveden kulkuajat yhdistetyn UFE-sieppausalueen sisältä olevilta Riipan pohjaveden riskialueilta vedenottamolle (Kuva 26). Pohjaveden pilaantumisen riskialueita on kahdeksan kappaletta ja niistä on laskettu etäisyydet Riipan vedenottamolle sekä aika vuorokausissa, joka pohjavedeltä kestää saapua vedenottamolle.

Pohjaveden virtausnopeuden keskiarvo riskialueilta 1 - 6 on 0,257 m/vrk. Riskialueet 7 ja 8 eivät sijoittuneet interpolointialueelle, joten niiden pinnankorkeutta ei ollut tiedossa. Kuitenkin kyseisiltä riskialueilta virtausnuolien perusteella tulee vedenottamoon vettä, joten ne ovat laskettu mukaan Riipan riskialueisiin opinnäytetyössäni. Keskiarvollisen nopeuden avulla on laskettu kaikkien riskialueilta tulevan pohjaveden kulku-aika Riipan vedenottamolle. Pohjaveden kulkuajat Riipan vedenottamolle on laskettu 10 m/vrk ja 100 m/vrk hydraulisen johtavuuden arvoilla.



Kuva 26. Sieppausalueen sisään jäävät riskialueet, joista pohjavettä tulee Riipan vedenottamolle. Riskialueilta on laskettu Darcyn-lailla pohjaveden virtaamisaika vedenottamolle hydraulisen johtavuuden ollessa 10 m/vrk ja 100 m/vrk. Hydraulisen johtavuuden ollessa 10 m/vrk:n kulkeutumisaika vedenottamolle on ilmoitettu vuosina ja hydraulisen johtavuuden ollessa 100 m/vrk:n kulkeutumisaika vedenottamolle on ilmoitettu kuukausina (Peruskartta © Maanmittauslaitos).

Lähimmältä käytöstä poistuneelta ja kunnostamattomalta maanottoalueelta pohjavedeltä kestää saapua vedenottamolle hydraulisen johtavuuden ollessa 10 m/vrk 8 vuotta ja hydraulisen johtavuuden ollessa 100 m/vrk nopeutuu pohjaveden saapuminen vedenottamolle 10 kuukauteen.

Kartassa merkityt riskialueet 2 ja 3 ovat pieniä pintavesistöjä. Niiden etäisyydet pohjavedenottamolle ovat 534,9 m ja 1028,9 m. Pohjavedeltä kestää kulkeutua riskialue 2:lta vedenottamolle hydraulisen johtavuuden ollessa 10 m/vrk kuusi vuotta ja hydraulisen johtavuuden ollessa 100 m/vrk seitsemän kuukautta. Riskialue 3:lta hydraulisen johtavuuden ollessa 10 m/vrk kestää pohjavedeltä saapua vedenottamolle 11 vuotta ja hydraulisen arvon ollessa 100 m/vrk pohjavedeltä kestää saapua vedenottamolle 13 kuukautta.

Riskialueet 4 ja 5 ovat Riipan pohjavesialueen läpi kulkevat valtatie 28 ja rautatie. Valtatie 28:n etäisyys vedenottamolle on 530,6 metriä ja rautatien 1038,9 metriä. Pohjavedeltä kestää kulkeutua vedenottamolle valtatie 28:n mittauspaijalta 6 vuotta hydraulisen johtavuuden ollessa 10 m/vrk ja seitsemän kuukautta, kun hydraulinen johtavuus on 100 m/vrk. Rautatieltä pohjavedeltä kestää tulla vedenottamolle 11 vuotta hydraulisen johtavuuden ollessa 10 m/vrk ja 13 kuukautta, kun hydraulinen johtavuus on 100 m/vrk.

Riskialue 6 ja 7 ovat käytöstä poistuneita ja kunnostumattomia maanottoalueita. Käytöstä poistunut maanottoalue 6 sijaitsee pohjavesialueen kaakkoisosassa 1482,9 metrin päässä vedenottamosta. Pohjavedeltä kestää saapua vedenottamolle hydraulisen johtavuuden ollessa 10 m/vrk 16 vuotta ja 19 kuukautta, kun hydraulinen johtavuus on 100 m/vrk. Käytöstä poistunut maanottoalue numero 7 on Riipan pohjavesialueen itäisessä osassa Jouhteenkankaalla, josta sieppausalueen mukaan saapuu pohjavettä vedenottamolle. Sen etäisyys vedenottamolle on 1134,9 metriä ja pohjavedeltä kestää saapua hydraulisen johtavuuden ollessa 10 m/vrk 12 vuotta. Hydraulisen johtavuuden ollessa 100 m/vrk pohjavedeltä kestää saapua vedenottamolle 15 kuukautta.

Riskialue 8 on valtatie 28:n varresta otettu näyte, josta on löytynyt sulfidiainesta 1,5 – 2 metrin syvyydestä. Riskialueen 7:n tavoin se ei myöskään ole Riipan pohjavesialueella, mutta pohjavettä virtaa sieppausalueelle sen suunnalta. Riskialue 8 sijaitsee 1556 metrin päässä vedenottamosta ja pohjavedeltä kestää saapua

vedenottamoon 17 vuotta hydraulisen johtavuuden ollessa 10 m/vrk ja 20 kuukautta, kun hydraulinen johtavuus on 100 m/vrk.

8.3 Menetelmien käytön arviointi pohjaveden suojelusuunnitelmassa

Suomessa pohjavesien suojelusuunnitelmien tavoitteena on pitää luonnontilaisten pohjavesimuodostumien veden laatu luonnollisena ja ehkäistä ihmistoiminnan vaikutusta pohjaveden laadun heikentämiseen. Yleisesti Suomessa pohjavesimuodostumat ovat pieniä kooltaan ja ovat tällöin myös herkkiä pilaantumaan. Suojelusuunnitelmat ovat tärkeitä vedenhankintaan soveltuville pohjavesialueille ja riskipohjavesialueille (Ympäristöhallinto 2020)

Pohjavedenotossa toiminnassa olevat vedenottamot ja potentiaaliset pohjavedenottopaikat ovat pohjaveden suojelussa tärkeitä kohteita. Kohteiden huomioiminen on tärkeää pohjaveden suojaustoimenpiteissä sekä myös, jos alueelle suunnitellaan vedenhankintaa tai maankäyttöä. Suojaustoimenpiteissä tulisi määrittää alueet, joista pohjavettä kertyy pohjavedenottamoille. Kun tiedetään alueet, josta pohjavettä kertyy vedenottamoille, voidaan reagoida nopeasti vahinkotapauksissa suojaus- ja korjaustoimenpitein, jos pohjaveteen on päässyt ympäristölle ja terveydelle haitallisia aineita.

Ympäristölupavirasto on tehnyt vesilain mukaisia suoja-aluevyöhykkeiden määrittäksiä, joissa suoja-alue jaetaan kauko- ja lähisuojavaöhykkeisiin sekä vedenottamoalueen suojavaöhykkeeseen. Pohjavesilaissa kuitenkin on määritetty, että pohjaveden muuttamis- ja pilaantumiskielto koskee koko pohjavesialuetta, eikä pelkästään vedenottamoiden suojavaöhykkeitä. Edellä mainituista syistä kauko- ja lähisuojavaöhykkeet sekä vedenottamoalueen mukaiset suojavaöhykkeet ovat menettäneet merkitystään, eikä niitä käytetä juuri enää.

Vahinkotapauksiin reagoiminen ja vahinkotapausten ehkäiseminen on nopeampaa, jos tiedetään pohjaveden virtaussuunta ja pohjavesialue on jaettu virtausvyöhykkeisiin. Tällöin tiedetään, kauanko pohjavedeltä kestää vahinkoalueelta ajallisesti saapua vedenottamolle. Suomessa pohjavesialueille virtausvyöhykkeiden tekeminen on ollut harvinaista ja niiden tekeminen suojelusuunnitelmien teon yhteydessä ei ole ollut mahdollista (Rintala ym. 2007, s. 26).

Riipan pohjavesialueella pohjaveden laatua uhkaavia riskitekijöitä arvioidaan olevan valtatie 28, rautatie, käytöstä poistunut ampumarata-alue, kunnostumattomat ja käytöstä poistetut maanottoalueet, happamat sulfaattimaat sekä pintavedet (Valpola & Valjus 2017, s. 26 - 27).

Sieppausaluemenetelmien tarkoitus on tarkkailla julkisia pohjaveden vedenottamoita, jolloin sieppausaluemäärittelyillä pyritään ennalta ehkäisemään pohjaveden likaantuminen ja havaitsemaan mahdolliset riskit, jotka uhkaavat pohjaveden laatua (Ohio Environmental Protection Agency 1994, s. 8).

Opinnäytetyössäni Riipan pohjavedenottamon ympärille muodostettu sieppausalue on osa ympäristölupaviraston säätelemää kaukosuojavyöhykettä, joka kattaa vedenottamon koko valuma-alueen. Samalla pohjaveden sieppausalueeseen kuuluu osa lähisuojavyöhykkeestä ja vedenottamoalueen suojavyöhyke.

Darcyn-lailla ja CFR-menetelmän vyöhykkeiden avulla lasketut pohjaveden virtausajat vedenottamolle auttavat hahmottamaan kuinka kauan pohjavedeltä kestää virrata riskialueilta, jotka sijaitsevat kauko-, lähi- tai vedenottamon suojavyöhykkeillä Riipan pohjavedenottamoon. Tiedon avulla voidaan tehdä ennaltaehkäisevää työtä, jos alueella tapahtuu ympäristövahinko ja pohjaveden laatu on uhkana heikentyä. Tällöin on olemassa arvio haitta-aineen kulkeutumisajasta vedenottamoon.

Darcyn-lailla ja CFR-menetelmällä määritetyissä pohjaveden kulkeutumisajoissa riskialueilta Riipan vedenottamolle on ajallista vaihtelua. Esimerkiksi valtatie 28:ltä CFR-menetelmän mukaan pohjavedeltä kestää virrata vedenottamolle 30 vuorokautta ja Darcyn-lain mukaan kuusi vuotta hydraulisen johtavuuden ollessa 10 m/vrk. Hydraulisen johtavuuden ollessa 100 m/vrk lyhenee kulkeutumisaika vedenottamolle seitsemään kuukauteen. Pohjaveden kulkeutumisnopeus vedenottamolle on yleisestikin nopeampaa CFR-menetelmällä, kuin Darcyn-lain määrittelyllä. CFR-menetelmän pohjaveden kulkeutumisnopeuteen vaikuttaa pumppausmäärä ja sen nostaminen nostaisi myös pohjaveden virtausnopeutta. Darcyn-laissa virtausnopeus riippuu suuresti hydraulisesta johtavuudesta ja myös hydraulisesta gradientista.

Pohjaveden sieppausalueen avulla voidaan hahmottaa riskialueet ja tehdä ennaltaehkäisevää työtä pohjavesialueella olevilla riskialueilla, jotka voivat uhata Riipan pohjaveden laatua. Riipan pohjaveden sieppausalueen rajojen sisälle jääviä riskialueita on pohjavesialueen läpi kulkevat ja aktiivisessa käytössä olevat valtatie 28

sekä rautatie. Muita tekijöitä ovat käytöstä poistuneet ja kunnostumattomat maanottoalueet, pintavesistöt sekä hapan sulfaattimaakerrostuma.

Riskialueeksi luokiteltu käytöstä poistunut ampumarata-alue ei ole sieppausalueen mukaan riskitekijä Riipan pohjavedelle. Virtausnuolien perusteella alueelta saapuva vesi ei tule vedenottamolle, vaan pohjaveden virtaus jatkuu kohti luodetta. Toukokuussa 2015 käytöstä poistuneelta ampumarata-alueelta otetussa pohjavesinäytteestä löydettiin kohonneita lyijy-, rauta- ja mangaanipitoisuusarvoja, jotka ylittivät talousveden laatuvaatimukset (Lindsberg 2015, s. 27).

9 VIRHELÄHTEET

Pohjaveden pinnankorkeuden interpoloinnissa voi ilmetä virheitä heti alkuvaiheessa, jos pohjaveden pinnankorkeustiedot ovat virheellisiä tai pinnankorkeuden mittauspisteitä ei ole tarpeeksi. Myös oikean interpolointimenetelmän löytäminen on tärkeää. Virheelliset pinnankorkeustiedot huomataan muista pinnankorkeustiedoista poikkeavana arvona tai sitten interpoloinnin suorittamisen jälkeen selkeänä anomaliana interpolointirasterin pinnalta.

Pohjavedenkorkeuden mittauspaikkoja olisi ollut hyvä olla laajemmalla alueella. Suurin osa mittauspaikoista sijaitsi Riipan pohjavedenottamon läheisyydessä. Mittauspaikkoja tulisi olla laajemmalla säteellä ympäri pohjavesialuetta, jolloin mittauspaikkojen avulla voitaisiin rakentaa tarkempia pohjaveden pinnankorkeuksien interpolointeja sekä niiden pohjalta tarkempia pohjaveden virtaussuuntia.

10 JOHTOPÄÄTÖKSET

Pohjavedenottamoiden sieppausalueiden sekä pohjaveden kulkeutumisaikojen määrittämisestä on hyötyä pohjavesialueiden ympäristönsuojelussa. Sieppausalueen määrittämisestä voidaan käyttää pohjavesialueiden ympäristönsuojelusuunnitelmien suoja-aluevyöhykkeiden määrittämisissä. Työssäni käytetyillä menetelmillä saatiin selvitettyä Riipan pohjavesialueen pohjaveden virtaussuunta, pohjavedenottamon sieppausalueet sekä arvioitua pohjaveden kulkeutumisaikaa riskialueilta vedenottamolle. UFE-menetelmän sieppausalueella saatiin arvioitua, miltä osalta pohjavesialuetta pohjavesi virtaa Riipan vedenottamoon. CFR-menetelmän sieppausalueen vyöhykkeiden perusteella voitiin arvioida virtaavan pohjaveden sijaintia tietyllä ajan hetkellä. Riipan pohjavesialueella on pohjaveden riskialueita. UFE-sieppausalueella olevilta riskialueilta saatiin laskettua Darcyn-lailla sekä CFR-vyöhykkeiden avulla pohjaveden kulkeutumisaika-arviot Riipan vedenottamolle. Darcyn-laissa pohjaveden kulkeutumisaikaan vaikuttaa suuresti hydraulinen johtavuus. Kulkeutumisaikojen tarkkojen aikojen arviointiin vaaditaan kattavat tiedot sieppausalueen maaperän hydraulisesta johtavuudesta.

Pohjaveden sieppausalueiden ja kulkeutumisaikojen määrittämisien avulla voidaan arvioida kulkeutumisaika ja samalla mahdollisesti riskialueilta pohjaveteen suotautuneiden haitta-aineiden kulkeutumisaika vedenottamolle. Näistä työssäni käyttämistä menetelmistä on hyötyä viranomaisille sekä kansalaisille, jotka käyttävät pohjavettä ja toimivat pohjavesialueella.

Opinnäytetyössäni ArcMap-10.6 -paikkatieto-ohjelmalla mallintamani pohjaveden pinnankorkeus, virtaussuuntaus sekä sieppausalueiden määrittäminen soveltuvat hyvin tämän kaltaiseen työhön. Paremman laadun ja informaation saamiseksi olisi hyvä käyttää mahdollisimman montaa eri menetelmää sieppausalueen ja pohjaveden kulkeutumisajan määrittämisissä. Niiden pohjalta voidaan tarkastella keskiarvollisia tuloksia, joiden avulla saadaan aiempaa selvempi käsitys alueellisesti pohjavedestä, joka kulkeutuu vedenottamolle, sekä pohjaveden kulkeutumisajasta.

KIITOKSET

Haluan kiittää työni ohjaajaa Oulun yliopiston tutkijatohtoria Jarkko Okkosta kiinnostavasta työni aiheesta sekä monipuolisesta avusta työhöni liittyen. Lisäksi haluaisin kiittää Oulun yliopiston erikoistutkijaa Kari Moisiota, joka auttoi ArcMap-paikkatieto-ohjelmaan liittyvissä kysymyksissä.

Lähdeluettelo

- Ahokangas E., 2019. New insights into the sedimentological-geophysical research of interlobate glaciofluvial complex in western Finland, Sarja 356. Turku: Turun yliopiston julkaisuja, 60 s. ISBN 978-951-29-7678-2
- Airaksinen, J., 1978. Maa- ja pohjavesihydrologia. Oulu: Kirjapaino Osakeyhtiö Kaleva, 248 s. ISBN 951-9099-73-5
- Antikainen H., & Kortsalo P., 2012. Johdatus ArcGIS 10- ohjelmiston käyttöön. Oulu: Oulun yliopistopaino, Oulun yliopiston maantieteen laitoksen opetusmoniste no. 42, 97 s. ISBN 978-951-42-9785-4
- Burden, D. (toim.), 2008. A Systematic Approach for Evaluation of Capture Zones at Pump and Treat Systems. [verkkodokumentti]. Saatavissa: https://frtr.gov/costperformance/pdf/remediation/capture_zone_at_p&t_4-17-08.pdf [viitattu 20.2.2020]. 166 s.
- Fetter, C.W., 2001. Applied Hydrogeology, Fourth Edition. University of Wisconsin Oshkosh: 598 s.
- Gustafsson J., Kinnunen T., Kivimäki A-L. & Suomela T., 2006. Pohjavesien suojelu, Taustaselvitys IV, Vesiensuojelun suuntaviivat vuoteen 2015. Helsinki: Suomen ympäristökeskus, Suomen ympäristökeskuksen raportteja 25|2006, 56 s. ISBN 952-11-2511-X
- Haavisto-Hyvärinen M., & Kutvonen H. 2007. Maaperäkartan käyttöopas. Geologian Tutkimuskeskus. [verkkodokumentti]. Saatavissa: https://tupa.gtk.fi/julkaisu/erikoisjulkaisu/gtk_maaperakartan_kayttoopas.pdf [viitattu 15.9.2019]. 67 s.
- Hansen C.V. 1991. Description and evaluation of selected methods used to delineate wellhead-protection areas around public-supply wells near Mt. Hope, Kansas. U.S. Lawrence, Kansas. [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://pubs.usgs.gov/wri/1990/4102/report.pdf> [viitattu 7.1.2020]. 39 s.
- Hellstén P., & Nysten T. 2001. Vaihtoehtoisten liukkaudentorjunta-aineiden kemialliset reaktiot pohjaveteen kulkeutumisessa. Suomen ympäristökeskus. Helsinki: Edita Oyj, 69 s. ISBN 952-11-0996-3
- Jylhä-Ollila M. & Laksio A. 2014. Utti pohjavesialueen suojelusuunnitelma, 1510005048. Lahti, Ramboll. [verkkodokumentti]. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/download/noname/%7B9272E465-273B-40F8-AD52-0276140DC221%7D/103226> [viitattu 15.4.2020]. 49 s.
- Karvonen A., Tuira T., Gustafsson J., Mannio J., Mehtonen J., Nystén T, Ruoppa M., Sainio P., Siimes K., Silvo K., Tuominen S., Verta M., Vuori K-M. & Äystö L. (toim), 2012. Vesiympäristölle vaarallisista ja haitallisista aineista annettujen säädösten

soveltaminen, Ympäristöministeriön raportteja 15 | 2012. [verkkodokumentti]. Helsinki. Ympäristöministeriö. Saatavissa: <http://www.ym.fi/download/noname/%7BAA1E882C-EB78-4D7F-9DD0-486BB08179F6%7D/31651> [viitattu 2.3.2019]. 77 s.

Kinnunen, T., 2005. Pohjavesitutkimusopas – käytännön ohjeita. Vammala: Suomen vesiyhdistys r.y., 194 s. ISBN 952-9606-73-7

Korkka-Niemi K. & Salonen. V.-P., 1996. Maanalaiset pohjavedet – pohjavesigeologian perusteet. Vammala: Vammalan Kirjapaino Oy, 181 s. ISBN 951-29-0825-5

Lindsberg E, 2015. Kokkolan pohjavesialueiden suojelusuunnitelma luonnos. [verkkodokumentti]. Geologian Tutkimuskeskus, Länsi-Suomen yksikkö. [Saatavissa] <https://docplayer.fi/31927888-Kokkolan-pohjavesialueiden-suojelusuunnitelma-luonnos.html>. [viitattu 1.2.2020]. 157 s.

Liu Y., Weisbrod N. & Yakirevich A. 2019. Comparative study of methods for delineating the wellhead protection area in an unconfined coastal aquifer [verkkodokumentti]. Saatavissa. https://www.researchgate.net/publication/321408404_COMPARATIVE_STUDY_OF_METHODS_FOR_DELINEATING_WELLHEAD_PROTECTION_AREA_IN_UNCONFINED_COASTAL_AQUIFER/link/5dbaa1c992851c8180194649/download [viitattu 3.4.2020]. 17 s.

Naumanen P., Sorvari J., Pyy O., Rajala P., Penttinen R., Tiainen J. & Lindroos S., 2002. Ampumarata-alueiden pilaantunut maaperä, tutkimukset ja riskienhallinta. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy, 145 s. ISBN 952-11-1092-9

Nystén T. & Hänninen, T., 1997. Tiesuolan pohjavesihaittojen vaikutuksista ja torjuntakeinoista. Helsinki: Oy Edita Ab, 60 s. ISBN 952-11-0083-4

Ohio Enviromental Protection Agency., 1994. Wellhead protection area delineation guidance. Columbus, Ohio, U.S.A: Ohio wellhead protection program's, 94 s.

Ratahallintokeskus., 2008. Rataverkon pohjavesialueiden riskienhallinnan kehittäminen. Helsinki: Ratahallinto keskuksen julkaisuja A 9/2008, 137 s. ISBN 978-952-445-235-9

Reinikainen, J., 2003. Reaktiiviset seinämät pilaantuneen pohjaveden käsittelyssä. Helsinki: Edita Prima Oy, 85 s. ISBN 952-11-1413-4

Rintala J., Hyvärinen V., Illmer K., Nylander E., Pulkkinen P., Rantala P. & Siiro P., 2007. Pohjavesialueiden suojelusuunnitelmat osana vesienhoidon järjestämisestä – taustaselvitys. [Verkkodokumentti]. Helsinki: Suomen ympäristökeskuksen raportteja7|2007. Saatavissa: https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/39832/SYKEra_7_2007.pdf?sequence=1 [viitattu 12.3.2020]. 55 s.

Suojasto S-L, 2017. Maa-ainesten ottotoiminta pohjavesialueet ja niiden suojelu. Varsinais-Suomen ELY-keskus. [Verkkodokumentti]. Saatavissa: <http://www.yrityssalo.fi/attachements/2017-05-03T09-11-10136.pdf> [viitattu 28.4.2019]. 24 s.

South Carolina Department of Health., 2004. Wellhead protection area (WHPA) delineation guidance for new wells. South Carolina Department of Health and Environmental Control. [Verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://scdhec.gov/sites/default/files/docs/Environment/docs/whpa.pdf> [viitattu 21.10.2019]. 7 s.

University of Maryland Libraries., 2012. Introduction to GIS using ArcGIS desktop 10. [Verkkodokumentti]. U.S. Government Information, Maps & GIS Services. Saatavissa: <https://www.lib.umd.edu/binaries/content/assets/public/gov-info-gis/research-and-instruction/introduction-to-gis-workbook.pdf> [viitattu 4.11.2020]. 44 s.

Uusi-Kämpä J., Virtanen S., Rosendahl R., Österholm P., Mäensivu M., Westberg V., Regina K., Ylivainio K., Yli-Halla M., Edén P. & Turtola E., 2013. Ympäristöriskien vähentäminen happamilla sulfaattimailla – Opas pohjaveden pinnan säätämiseksi. Jokioinen: MTT-Jokioinen, 24 s. ISBN 978-952-487-421-2

U.S Environmental Protection Agency., 1994. Handbook Ground water and wellhead protection. Cincinnati, Ohio: Office of Research and Development, 269 s.

Valpola S. & Valjus T., 2017. Riipan pohjavesialueen geologinen rakenneselvitys. Geologian tutkimuskeskus. [Verkkodokumentti]. Geologian Tutkimuslaitos. 50404-400552. Saatavissa: http://tupa.gtk.fi/raportti/arkisto/41_2017.pdf [viitattu 12.10.2018]. 37 s.

Ylönen, K., 2005. Eräät orgaaniset ja epäorgaaniset haitta-aineet Etelä-Savon tärkeimpien vedenottamoiden raaka- ja pohjavesissä. Mikkeli: Oswald Interkopio Oy. Etelä-Savon ympäristökeskuksen moniste, 154 s.

Ympäristöministeriö (2009). Maa-aineksen kestäväkäyttö. Ympäristöhallinnon ohjeita I | 2009. Helsinki: Edita Prima Oy, 140 s. ISBN 978-952-11-3436-4

Washington State Department of Health., 2010. Wellhead protection program guidance document. Washington, U.S.A: Division of Environmental Health Office of Drinking Water, 105 s.

Internet-lähteet:

ESRI, Arc Hydro: GIS for Water Resources [verkkosivusto] [viitattu 28.12.2019]
<https://www.esri.com/library/fliers/pdfs/archydro.pdf>

Geologian tutkimuskeskus, Jäätikkömuodostumat, kasaantumismuodot, 18.6.2013.
[verkkosivusto]. [viitattu 27.2.2019] http://weppi.gtk.fi/aineistot/mp-opas/jaatikkojoki_harjut.htm

Geologian tutkimuskeskus, Maankamara [verkkosivusto] [viitattu 29.2.2020]
<https://gtkdata.gtk.fi/maankamara/>

Geologian tutkimuskeskus, Bedrock of Finland [verkkosivusto] [viitattu 29.2.2020]
<https://gtkdata.gtk.fi/Kalliopera/index.html>

Karpalotietokanta, Suomen Ympäristökeskus, tietokeskus [verkkosivusto] [viitattu 14.3.2019]
<https://www.wp2.ymparisto.fi/karpaloHtml5/html5viewer/?configBase=https%3a%2f%2fwww.wp2.ymparisto.fi%2fkarpaloHtml5%2fH5cfg%2f5jv2bT6Mv6a223nUT>

Terveysten ja hyvinvoinnin laitos, Pilaantuneesta maasta kaivoveteen päätyvät kemialliset aineet [verkkosivusto] [viitattu 4.4.2020]
<https://thl.fi/fi/web/ymparistoterveys/vesi/talousvesi/kaivovesi/pilaantuneesta-maasta-kaivoveteen-paatyvat-kemialliset-aineet>

Väylävirasto, Ympäristö, Pohjavedet ja maaperä [verkkosivusto] [viitattu 13.8.2019]
<https://vayla.fi/ymparisto/pohjavedet-maapera#.XVKUO-gzaUn>

Ympäristöhallinto, Ympäristöhallinnon yhteinen verkkopalvelu, Pohjaveden suojele [verkkosivusto] [viitattu 5.3.2020] <https://www.ymparisto.fi/pohjavedensuoja>

Ympäristöministeriö, Ympäristö, Riskialttiiden pohjavesialueiden määrä kasvanut selvästi [verkkosivusto]. [viitattu 10.4.2019] [https://www.ym.fi/fi-FI/Ymparisto/Riskialttiiden_pohjavesialueiden_maara_k\(16833\)](https://www.ym.fi/fi-FI/Ymparisto/Riskialttiiden_pohjavesialueiden_maara_k(16833))